

# MONTPELLIER SUPAGRO

## THÈSE

Pour obtenir le grade de

## DOCTEUR DE MONTPELLIER SUPAGRO

*Discipline : Génie des procédés*

*École doctorale : Sciences des Procédés – Sciences des Aliments*

*Présentée et soutenue publiquement*

Par

**CISSE Ibrahima**

Caractérisation des propriétés biochimiques et nutritionnelles de la pulpe de baobab des espèces endémiques de Madagascar et d'Afrique continentale en vue de leur valorisation.

*Soutenance le 22 juin 2012 devant le jury composé de :*

M. Gautier Michel	Professeur, Agrocampus, Rennes	Rapporteur
M. Scher Joël	Professeur, ENSAIA INPL, Nancy	Rapporteur
Mme Anin Atchibri Louise	Professeur ABOBO-ADJAMÉ, Abidjan	Examineur
M. Pélissier Yves	Professeur, Université de Montpellier 1	Examineur
M. Boulanger Renaud	Chercheur, CIRAD, Montpellier	Examineur
M. Montet Didier	Chercheur, CIRAD, Montpellier	Directeur de thèse

## REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche n'est pas le fruit d'un seul homme, bien qu'il serve maintenant à n'en couronner qu'un seul. De nombreuses personnes y ont participé apportant leur pierre à ce que je considère comme une œuvre collective. C'est la raison pour laquelle, au bout de trois ans, malgré mes occupations professionnelles, j'ai pu mener à bien, je l'espère, ce travail de recherche dans des conditions plus favorables selon le lieu de travail. J'adresse mes chaleureux remerciements et toute ma grande reconnaissance à Monsieur Max Reynes, Directeur de l'UMR Qualisud du CIRAD pour m'avoir accueilli au sein de sa structure. Mr. M Reynes m'a toujours soutenu pour que je puisse mener ce travail de recherche dans les meilleures conditions possibles.

J'exprime toute ma reconnaissance au docteur Didier Montet, HDR Chef de l'équipe sûreté des aliments du Cirad, UMR 95 Qualisud Montpellier, pour avoir assuré la direction de cette thèse. Il m'a conseillé tout au long de ces années de recherche avec beaucoup de rigueur, de responsabilité, et de patience. J'ai pu compter sur ses conseils, son encouragement. Son éternelle disponibilité et la confiance qu'il m'a accordée ont été mes plus grands atouts. Je lui exprime ma sincère gratitude. Il a supervisé au quotidien ce travail. Ses encouragements fréquents et son engagement toujours enthousiaste ont été une grande source d'inspiration, de motivation et d'enrichissement.

Je tiens à remercier Dr Renaud Boulanger Chercheur et Chef de l'équipe 1 du Cirad, UMR 95 Qualisud Montpellier, pour son encadrement. Depuis 3 ans, il ne cesse de me former pas à pas, de me transmettre tout son savoir. Son éternelle disponibilité et la confiance qu'il m'a accordée ont été mes plus grands atouts. Il m'a conseillé tout au long de ces années de recherche avec beaucoup de rigueur, de responsabilité, et de patience. Je lui exprime ma sincère gratitude.

Je suis reconnaissant à Dr Pascal Danthu chercheur au Cirad de Madagascar, pour avoir encadré ce travail, sa participation pour la récolte et envoi des échantillons.

Mes sincères remerciements s'adressent également au Professeur Yao Benjamin, directeur du département GCAA à l'institut National Polytechnique de Yamoussoukro.

Je remercie également Dr Fofana Broulaye, chercheur au Canada. Malgré la distance qui nous séparait, j'ai toujours pu compter sur ses conseils pertinents. Sa disponibilité et sa forte implication dans l'élaboration de cette thèse. Ses remerciements s'adressent également à Manuel Dornier, Professeur à Montpellier SUPAGRO, Noël Durand, Chercheur au CIRAD et

à M. Fabrice Davrieux Chercheur au CIRAD. Ses remerciements s'adressent au Professeur Anin Atchibri Louise pour sa disponibilité et sa forte implication dans l'élaboration de cette thèse.

Je remercie également, Docteur Isabelle Maraval, pour sa disponibilité, sa patience, sa lucidité et sa forte implication dans l'élaboration de cette thèse. Je lui exprime ma sincère reconnaissance.

Je tiens à remercier Mr. Gautier Michel et Mr Joël Scher d'avoir accepté de rapporter cette thèse. Je remercie également Mr Péliissier Yves pour avoir accepté de présider ce jury.

Mes vifs remerciements à l'endroit du personnel technique de l'UMR en particulier à feu Daniel Dijoux, Joël Grabulos, Françoise Matencio, Pascaline Alter, André Kapitan, Nelly Forestier-Chiron, Lorente Jean-Claude, Laurent Bonnal, Gilles Morel, Jean Claude Manez pour leur appui technique sans faille. Vous étiez un des maillons essentiels de ce travail.

J'adresse également toute ma reconnaissance aux différentes assistantes de l'UMR Qualisud en particulier Jocelyne Renda, Marie-Pierre Obede, Martine Duportal, Chantal C, Nathalie. Je remercie vivement toute l'équipe de l'UMR Qualisud du CIRAD pour leur disponibilité, leur assistance technique, pour l'ambiance sympathique qui règne au sein du groupe. Cette équipe donne une image positive de l'entente entre les populations du monde avec ces jeunes chercheurs multinationaux. Je tiens à remercier tous mes frères, amis et collègues doctorants en particulier Doudjo Soro, Mohamed Cisse, Clémentine Kouakou, Mady Cisse, Laetitia Mestres, Fernando Pinto de Abreu, Joseph Bassama. Je garderai d'eux le souvenir de discussions très enrichissantes et amusantes.

Pour mener à bien cette étude, un soutien financier a été reçu du gouvernement français et une bourse du gouvernement de la Côte d'Ivoire. J'exprime mes sincères remerciements aux personnes de l'ambassade de France en Côte d'Ivoire en particulier Mme N'tapké Juliette Kablan, qui ma sans cesse aidé et soutenu tout au long de ces années, je lui en suis reconnaissant.

Je tiens à remercier le département Génie Chimique et Agro Alimentaire GCAA. Chers professeurs, chers collègues enseignants, chers collègues techniques et administratifs, chers étudiants, je vous dis merci. Je désire également associer à ce travail de recherche, les étudiants stagiaires qui ont largement contribué à sa réalisation.

A Feu El Hadji Moussa CISSE,

A Juliette. NTAKPE diplomate à

l'ambassade de France (RCI)

A mon Père El Hadji Sama CISSE,

A ma mère Adja Awa CISSE,

A mes Frères et Sœurs CISSE,

A ma chère épouse Doumouya Assata,

A mes cher fils et filles de la famille CISSE,

Votre Serviteur vous rend hommage.

# SOMMAIRE

INTRODUCTION .....	1
Partie I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE .....	5
Chapitre I .....	6
I.1    Baobab comme plante indigène.....	6
I.1.1    Principales caractéristiques botaniques des espèces du genre <i>Adansonia</i> .....	7
I.1.2    Les espèces de Baobabs .....	8
I.1.2.1    Baobabs Malgaches .....	9
I.1.2.2    Le baobab africain.....	18
I.1.3    Phénologie.....	24
I.1.4    Culture et production .....	26
I.1.4.1    Récolte et Culture .....	26
I.1.4.2    Production.....	28
I.1.4.3    Maladies et ravageurs.....	29
Chapitre II .....	30
II.1    Utilisations et propriétés nutritionnelles .....	30
II.1.1    Parties comestibles.....	30
II.1.1.1    Les feuilles.....	30
II.1.1.2    Le fruit .....	32
II.1.1.3    La pulpe.....	32
II.1.1.4    Les graines.....	36
II.1.2.    Activité anti-oxydante .....	39
II.1.3    Autres usages .....	39
Chapitre III .....	41
III.1    Vertus thérapeutiques traditionnels d' <i>Adansonia digitata</i> .....	41

III.1.1	Racines.....	41
III.1.2	Graines et Huile de Baobab .....	42
III.1.3	Feuilles.....	42
III.1.4	Pulpe de fruit .....	42
III.2	Propriétés anti-inflammatoires et antipyrétiques.....	42
III.3	Propriétés anti-diarrhéiques .....	43
III.4	Activités antiparasitaires .....	43
III.5	Activités antivirales et antimicrobiennes .....	44
Chapitre IV .....		45
IV.1	Technologie de transformation et de conservation de la pulpe de baobab .....	45
IV.1.1	Transformation.....	45
IV.1.2	Conservation.....	47
IV.1.2.1	Procédés de stabilisation .....	47
IV.1.2.2	Pasteurisation .....	47
Chapitre V .....		49
V.1	Méthodes d’analyses et de diagnostic .....	49
V.1.1	La Spectrométrie Proche Infrarouge (SPIR): Un outil de diagnostic rapide et performant .....	49
V.1.1.1	Intérêt de du SPIR .....	50
V.1.1.2	Modèle de robustesse .....	50
V.1.1.3	Précision du modèle.....	51
V.1.2	Développement pour la caractérisation des fruits et végétaux.....	51
V.1.3	Applications .....	52
V.1.4	Contraintes techniques de SPIR dans l’analyse des aliments.....	54
Partie II : MATERIELS ET METHODES .....		56
Chapitre I .....		57

I.1	Matériel végétal et préparation des extraits .....	57
Chapitre II .....		60
II.1	Méthodes expérimentales pour la caractérisation des pulpes de Baobab.....	60
II.1.1	Détermination de la teneur en eau .....	60
II.1.2	Détermination de la teneur en matières minérales.....	60
II.1.3	Détermination de la teneur en lipides .....	60
II.1.3.1	Protocole de quantification de la teneur en matière grasse totale.....	60
II.1.3.2	Détermination de la composition et de la quantification des acides gras .....	61
II.1.3.3	Identification et quantification des acides gras .....	61
II.1.4	Détermination de la teneur en protéines .....	62
II.1.5	Détermination de la teneur en acides aminés libres .....	62
II.1.6	pH et acidité titrable.....	63
II.1.7	Mesure de l'extrait sec soluble .....	63
II.1.8	Analyse des minéraux.....	64
II.1.8.1	Mise en solution par minéralisation par voie sèche .....	64
II.1.8.2	Dosage des éléments minéraux par spectrométrie d'émission plasma à couplage inductif (ICP) .....	64
II.1.9	Dosage de la vitamine C .....	64
II.1.10	Dosage des polyphénols totaux .....	65
II.1.11	Détermination du pouvoir antioxydant par la méthode ORAC.....	65
II.1.12	Dosage des sucres .....	66
II.1.12.1	Protocole d'analyse des sucres réducteurs.....	67
II.1.13	Activité de l'eau .....	67
II.1.14	La viscosité.....	68
II.1.15	Mesure de la couleur.....	68
II.1.16	Caractérisation des profils aromatiques .....	69
II.1.16.1	Micro-extraction en phase solide des composés volatils des échantillons .....	69

II.1.16.2	Identification des molécules chimiques par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectroscopie de masse .....	69
Chapitre III	.....	70
III.1	Etude des procédés de transformation de la pulpe de Baobab en nectar et de conservation .....	70
III.2	Les procédures d'obtention des jus .....	71
III.3	Traitement thermique : Pasteurisation .....	72
III.4	Analyses microbiologiques .....	73
III.4.1	Principe de dénombrement .....	74
III.4.2	Technique opératoire et méthode de calcul .....	74
III.5	Analyses sensorielles .....	75
III.5.1	Caractérisation des profils organoleptiques .....	75
III.5.2	Sélection des échantillons et des descripteurs .....	75
III.5.3	Analyse descriptive.....	75
III.5.4	Déroulement d'une analyse sensorielle, Test triangulaire.....	76
Chapitre IV	.....	77
IV.1	Conditions de la spectroscopie proche infra rouge (SPIR).....	77
IV.2	Traitement de l'acquisition .....	77
Partie III : RESULTATS ET DISCUSSION	.....	78
Chapitre I	.....	79
I.1	Caractéristiques physico-chimiques et composition chimique des échantillons de baobab.....	79
I.1.1	Teneur en matière sèche et degré Brix .....	79
I.1.2	Teneur en lipides de la pulpe de baobab .....	81
I.1.2.1	Lipides .....	81
I.1.2.2	Composition en acides gras de la pulpe.....	81



I.1.3	Teneur en protéines de la pulpe de baobab .....	84
I.1.3.1	Protéines .....	84
I.1.3.2	Composition en acides aminés .....	84
I.1.4	Fibres .....	86
I.1.5	Glucides .....	87
I.1.6	Cendres.....	87
I.1.7	Vitamine C .....	87
I.1.8	Acidité titrable et pH .....	88
I.1.9	Polyphénols .....	90
I.1.9.1	Teneurs en phénols totaux chez six espèces .....	90
I.1.9.2	Identification des composés phénoliques .....	90
I.1.10	Pouvoir antioxydant .....	92
I.1.11	Sels minéraux et métaux .....	92
I.1.12	Etude des composés d'arôme de la pulpe de baobab .....	95
I.1.12.1	Choix d'une fibre SPME pour l'extraction des composés volatils.....	95
I.1.12.2	Mise au point des conditions d'extraction des composés volatils .....	96
I.1.12.3	Identification des composés d'arôme de la pulpe de baobab.....	97
I.1.13	Différenciation des espèces de baobab en relation avec leur composition .....	101
I.1.14	Variabilité de la composition chimique de la pulpe de baobab due aux saisons....	102
I.1.15	Variabilité de la composition en macronutriments due aux zones.....	104
I.1.16	Relation entre la composition des pulpes et l'apport journalier recommandé .....	105
I.1.17	Conclusion partielle .....	106
Chapitre II	.....	108
II.1	Procédés de fabrication du nectar de Baobab .....	108
II.2	Préparation et transformation du nectar de la pulpe de baobab.....	108
II.3	Choix d'un barème de pasteurisation .....	110

II.4	Pasteurisation du jus de fruit de baobab .....	112
II.5	Effet de la pasteurisation sur les caractères physico-chimiques du nectar de baobab ..	114
II.5.1	Résultats de la caractérisation microbiologique après pasteurisation du jus de baobab .....	114
II.6	Suivi de la qualité du nectar lors de la pasteurisation à 70°C/10 min.....	115
II.6.1	Evolution des sucres réducteurs après pasteurisation à 70°C/10 min.....	116
II.6.2	Evolution des sucres totaux après pasteurisation à 70°C/10 min.....	117
II.6.3	Evolution de la teneur en vitamine C après pasteurisation à 70°C/10 min .....	118
II.6.4	Evolution de l'acidité après pasteurisation à 70°C/10 min .....	122
II.6.5	Evolution du pH après pasteurisation à 70°C/10 min .....	123
II.6.6	Conclusion sur la pasteurisation.....	124
II.7	Analyse sensorielle du nectar de baobab ( <i>Adansonia digitata</i> ) issu des traitements de pasteurisation et de conservation.....	125
Chapitre III	.....	127
III.1	Etude d'utilisation du SPIR dans l'analyse de la pulpe de baobab.....	127
III.1.1	Analyse par SPIR .....	127
III.1.2	Acquisition et interprétation des Spectres NIRS .....	127
III.1.3	Calibrage SPIR.....	128
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	.....	133
Références Bibliographiques.....		136

## Liste des illustrations

Figure 1 : Aspect morphologique de <i>A. grandidieri</i> . A. Aspect général de l'arbre; B. Fleur de Brevitubae de <i>A. grandidieri</i> .	11
Figure 2 : Aspect morphologique <i>A. rubrostipa</i> . (A). Aspect général de l'arbre ; (B). Fleur de Longitubae de <i>A. rubrostipa</i> .	15
Figure 3 : Fleur Longitubae de <i>A. perrieri</i> .	16
Figure 4 : Aspect morphologique du baobab africain <i>A. digitata</i> .	19
Figure 5 : Aspects morphologiques de la fleur (A), du fruit (B-C) et des feuilles digitées (D) d' <i>Adansonia digitata</i> .	20
Tableau 1 : Éléments comparatifs entre les espèces du genre <i>Adansonia</i> .	21
Figure 6 : Aire de répartition approximative de 8 espèces de baobab en Afrique continentale.	23
Tableau 2 : Quelques noms vernaculaires pour <i>Adansonia digitata</i> L.	24
Figure 7 : Périodes de floraison des six espèces de baobabs Malgaches.	25
Figure 8 : Gamme d'heures d'ouverture des fleurs des Baobabs endémiques à Madagascar.	26
Figure 9 : Gestion permettant une récolte plus facile pour l'exploitation de culture d'une banque nutritionnelle de baobab (ICRAF).	28
Figure 10 : Évolution de la production de pain de singe /an, fruit d' <i>Adansonia digitata</i> , au Sénégal entre 1990 et 2003.	29
Figure 11 : Feuilles digitées de baobab.	32
Figure 12 : Morphologie du fruit entier d' <i>A. digitata</i> et la pulpe de baobab.	33
Figure 13 : Graines de baobab.	37
Tableau 3 : Composition de la pulpe du fruit, des graines et des feuilles d' <i>Adansonia digitata</i> L. exprimée par kg.	38
Tableau 4 : Principales utilisations médicinales traditionnelles du baobab.	40
Figure 14 : diagramme décrivant les procédés traditionnels d'élaboration du nectar de fruit du baobab.	46
Tableau 5 : Quelques applications de SPIR pour la mesure de SSC.	53
Figure 15 : Zones de prélèvement des échantillons à Madagascar.	58
Figure 16 : Zones de prélèvement des échantillons en Côte d'Ivoire.	59
Tableau 6 : Solution témoin d'acides gras utilisée pour l'analyse des acides gras.	62
Figure 17 : Aquaolabe Aw mètre.	68
Tableau 7 : Descripteurs utilisés pour les analyses sensorielles et leur définition.	76

Tableau 8 :Teneur en matières sèches et composition chimique et nutritionnelle de la pulpe de baobab de cinq espèces malgaches et de l'espèce africaine <i>A. digitata</i> collectée en Côte d'Ivoire. ....	80
Tableau 9 : profils des acides gras de la pulpe des baobabs malgaches et ivoiriens (%). ....	82
Figure 18 : Teneur en acides aminés essentiels (A) et non essentiels (B) de la pulpe de baobab des échantillons malgaches et ivoiriens. ....	85
Tableau 10 : Composition chimique et nutritionnelle de la pulpe de Baobab des six espèces étudiées (Malgaches et Ivoiriennes). ....	89
Tableau 11 : Profils des composés phénoliques identifiés dans la pulpe de six espèces de baobabs étudiés. ....	91
Tableau 12 : Composition minérale de la pulpe de six espèces de baobab originaires de Madagascar et celui de Côte d'Ivoire. ....	94
Figure 33 : Répartition par familles des composés volatils extraits par trois fibres SPME de la pulpe de baobab <i>Adansonia Digitata</i> . ....	96
Figure 34 : Répartition par familles des composés volatils extraits de la pulpe de baobab <i>Adansonia Digitata</i> dans trois conditions d'extraction. ....	97
Tableau 20 : Composés volatils identifiés dans la pulpe de baobab <i>A. Digitata</i> . ....	99
Figure 19 : Représentation des espèces de baobab sur plan factoriel 1-2 (a) et 1-3 (b) de l'ACP en relation avec la composition biochimique de la pulpe et cercle des corrélations des variables (c et d). ....	102
Figure 20 : Variabilité pour 2 espèces de baobabs ( <i>A. perrieri</i> et <i>A. digitata</i> ) des teneurs en polyphénols (A), de la capacité anti-oxydante (B), de la teneur en vitamine C (C) et de l'acidité (D) sur deux saisons (2009 et 2010). ....	103
Tableau 13 : Variabilité de la composition en macronutriments due aux zones des échantillons de pulpe de Madagascar et de Côte d'Ivoire. ....	104
Tableau 14 : Apport journalier recommandé (AJR) pour les enfants (4-8 ans) et les femmes enceintes (19-30 ans). ....	106
Figure 21 : Diagramme de transformation de la pulpe de baobab. ....	109
Figure 22 : Evolution de la viscosité en fonction de la concentration du jus de baobab. ....	110
Tableau 15 : Dispositif expérimental Doehlert pour les variables indépendantes (niveaux et les valeurs de données). ....	111
Figure 23 : Surface de réponse de la charge microbienne des levures et moisissures. ....	112

Figure 24 : Evolution de la température du jus lors de la pasteurisation du jus au barème de 70°C/10min. ....	113
Tableau 16 : Valeurs pasteurisatrices des différents barèmes utilisés sur le jus de baobab...	113
Tableau 17 : Impact des effets de la pasteurisation sur certaines teneurs en constituants biochimiques du jus de baobab. ....	114
Tableau 18 : Caractéristiques microbiologiques du jus avant et après pasteurisation à 70°C/10 min.....	115
Figure 25 : Evolution de la concentration en sucres réducteurs en fonction du temps et de la température de conservation du nectar. ....	117
Figure 26 : Évolution de la concentration en sucres totaux en fonction du temps et de la température de conservation du nectar. ....	117
Figure 27 : Evolution de la concentration en vitamine C en fonction du temps et de la température de conservation du jus. ....	118
Figure 28 : Cinétique de dégradation de la vitamine C de la pulpe de baobab en fonction de la température au cours 42 jours de stockage à 4°C, 25°C et 37°C. ....	120
Figure 29 : Constante de vitesse (k) pour la teneur de la vitamine C pendant 42 jours en fonction de la température. ....	121
Tableau 19 : Les paramètres de cinétiques de dégradation thermique de la vitamine C du nectar de baobab. ....	121
Figure 30: Evolution de l'acidité titrable en fonction du temps et de la température de conservation du nectar. ....	123
Figure 31: Évolution du pH en fonction du temps et de la température de conservation du nectar. ....	124
Figure 32 : Comparaison des profils sensoriels des trois nectars de baobab (frais, pasteurisé, pasteurisé et conservé). ....	126
Figure 35 : Spectres proche infrarouge de pulpe de baobab de 400 à 2500 nm exprimés en log (1/R). ....	128
Figure 36 : Graphiques des corrélations entre les données prédites par SPIR en fonction des valeurs du laboratoire pour la teneur en matières sèches, en protéines, en fructose et en potassium.....	129
Tableau 21 : Caractéristiques des données d'étalonnage SPIR pour les teneurs en matière sèche, en protéines, en fructose et en potassium des échantillons de baobabs Malgaches et Ivoiriens.....	130

Figure 37 : Répartition des échantillons pour les composantes principales 1 et 2 □ <i>A. digitata</i> (Cote d'Ivoire), ○ <i>A. grandidieri</i> (Madagascar), ● autres variétés de Madagascar. ....	131
Figure 38 : Coefficient des vecteurs propres de l'ACP en fonction des longueurs d'ondes..	132

---

## INTRODUCTION

---

# INTRODUCTION

Les êtres humains dépendent fortement des ressources naturelles pour leur survie. Au Sahel, les céréales constituent la composante majeure de l'alimentation. Toutefois, les populations tirent aussi une grande part de leur nourriture directement de la nature. Ainsi, l'arbre et les produits forestiers sont des composantes majeures dans la satisfaction de leurs besoins essentiels. Une myriade de produits forestiers non ligneux joue un rôle crucial dans la sécurité alimentaire, procurant aux populations divers éléments essentiels comme les vitamines et les minéraux et qui sont très souvent absents des céréales couramment consommées.

Les populations ont donc besoin de certains arbres pour survivre, ou tout au moins pour mieux vivre. Ainsi, ils utilisent le baobab (*Adansonia sp.*) à des fins thérapeutiques, alimentaires, économiques et socioculturelles. Les recherches entreprises sur cette espèce au Nigéria et au Mali ont permis de disposer d'informations de base sur sa valeur alimentaire et ses potentialités agronomiques (Sidibé *et al.*, 1998; Sidibé & Williams, 2002; Yazzie *et al.*, 1994). Ailleurs en Afrique, de nombreux travaux ont contribué à la mise en exergue des connaissances ethnobotaniques et de l'importance socio-économique en relation avec l'espèce *A. digitata* (Baum, 1995a; Codjia *et al.*, 2003).

Les habitants du Sahel consomment les feuilles de baobab (*Adansonia digitata*) depuis des siècles. Cet arbre majestueux, très distinctif des autres, s'est implanté dans les mœurs et les mythes de la plupart des ethnies qui résident en Afrique Occidentale (Sidibe *et al.*, 1996). Cette majestuosité et ce respect pour l'arbre démontre l'importance du baobab pour les Africains. Niang, 2000 n'hésite pas à affirmer que le baobab est l'arbre le plus important pour les habitants de trois pays du réseau des basses terres semi-arides d'Afrique de l'Ouest (*Semi Arid Lowlands of West Africa- SALWA*) à savoir le Burkina Faso, le Mali et le Niger. Ainsi, les habitants du Mali cueillent les feuilles du baobab pour préparer une sauce accompagnant les céréales. Les fruits et les feuilles du baobab sont essentiels à l'élaboration des repas quotidiens. À titre d'exemple, Gustad, 2001 estime qu'un Malien de Cinzana (commune malienne dans le cercle de Ségou) consomment en moyenne 24,4 kg de feuilles de baobab fraîches par an.



Bien que les baobabs soient connus de tous, les connaissances scientifiques actuelles relatives à l'aspect nutritionnel et à l'intérêt porté à leurs fruits comme un élément important pour la nutrition humaine restent encore parcellaires. A ce jour, la plupart des études réalisées ont concerné l'espèce *A. digitata*, sur ces caractéristiques botaniques (Baum, 1995b; De Smedt *et al.*, 2010; Favier *et al.*, 1993; Sena *et al.*, 1998; Soloviev *et al.*, 2004), agronomiques (Codjia *et al.*, 2001; Codjia *et al.*, 2003; De Caluwé *et al.*, 2009; Obizoba & Amaechi, 1993a; Wickens & Lowe, 2008 ; Gustad *et al.*, 2004; Saka *et al.*, 2007) et biochimiques (Assogbadjo *et al.*, 2006; Chadare *et al.*, 2009; Diop *et al.*, 2005; Gebauer *et al.*, 2002; Sidibe & Williams, 2002). A partir de ces études biochimiques, il a été démontré que la pulpe des baobabs de l'espèce *A. digitata* est riche en fibres alimentaires (Chadare *et al.*, 2009 Cisse *et al.*, 2008), glucides (Murray *et al.*, 2001; Nour, Magbou, *et al.*, 1980; Soloviev *et al.*, 2004) et en vitamine C (Carr, 1955; Chadare *et al.*, 2009; De Caluwé *et al.*, 2009; Sidibé *et al.*, 1996) et qu'elle pouvait être utilisée dans la formulation de boissons tel le nectar (Cisse *et al.*, 2008; Ibiyemi *et al.*, 1988; Obizoba & Amaechi, 1993a, 1993b). Toutefois, les informations actuellement disponibles sur *A. digitata* s'avèrent insuffisantes et inexistantes chez les espèces Malgaches. Chez ces dernières, seules des études sur le pouvoir germinatif (Danthu *et al.*, 1975; Razanameharizaka *et al.*, 2006), et des matières grasses des graines ont été réalisées (Gaydou *et al.*, 1982).

Cette étude s'inscrit dans le contexte du développement et de la valorisation des produits locaux en Afrique. Elle a pour objectif principal de caractériser la pulpe des fruits issus d'échantillons de diverses provenances et de mettre en évidence la diversité biochimique des espèces originaires de Madagascar, afin de sélectionner les espèces les plus prometteuses du point de vue nutritionnel. A cette fin, nous nous sommes proposés dans un premier temps de caractériser et de quantifier les principaux éléments nutritifs et notamment les glucides, les acides aminés, les lipides, les polyphénols, la vitamine C, les acides organiques, les éléments minéraux et les arômes dans différentes espèces. Ensuite, nous évaluerons leurs potentiels pour une valorisation à plus grande échelle par une amélioration des procédés de transformations existants en Afrique, et d'identifier une approche de stabilisation de la boisson par voie conventionnelle (pasteurisation) et de conservation de la pulpe en vue d'une éventuelle utilisation pour la production de nectar. Enfin, une étude de faisabilité du dosage des composés biochimiques par

spectrométrie proche infrarouge a été réalisée pour tenter de relier la composition à la qualité du produit alimentaire.

La première partie de ce document sera consacrée à la revue bibliographique. Subdivisée en cinq chapitres, elle résume les connaissances actuelles sur le baobab, la composition, les propriétés biologiques des substances présentes, et les principes actuelles de transformation du produit. Dans la seconde partie, seront abordées les méthodes analytiques utilisées, développées ou optimisées afin de quantifier les diverses familles de molécules d'intérêt. Dans la troisième et quatrième partie, les principaux résultats obtenus au cours des expérimentations seront présentés puis discutés. Une note générale mettant en exergue les points saillants de cette étude terminera ce document en guise de conclusion.

---

## **Partie I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

---

## **Chapitre I**

### **I.1 Baobab comme plante indigène**

Le Baobab est originaire d'Afrique tropicale. Il est mentionné dès 1354 dans les récits des voyages d'Ibn Battuta, célèbre explorateur arabe de la première moitié du XIV<sup>e</sup> siècle (Baum, 1995b). Cité pour la première fois en 1592 par Prospero Alpino, physicien et herboriste vénitien, le mot « baobab » serait une translittération du terme arabe « bu hibab » signifiant « fruit aux nombreuses graines ». L'origine du terme est néanmoins controversée (Diop *et al.*, 2005). Au XV<sup>e</sup> siècle, dans sa « *Cronica dos Feites da Guiné* », l'explorateur portugais Gomes Eanes de Zurara lui donnera le nom de « plante calebassier » (« cabaçevre » en portugais), dénomination qui sera couramment utilisée jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle (Baum, 1995b; Wickens, 1982). Une description détaillée de la plante est proposée vers 1750 par le botaniste français Michel Adanson, ayant séjourné plusieurs années au Sénégal. Il mentionne pour la première fois le terme « pain de singe » pour ses fruits (Baum, 1995b; Wickens, 1982). En référence à ce botaniste qui en rapporta des échantillons à Paris, Carl von Linné et Bernard de Jussieu proposèrent à cette époque *Adanson digitata* L. comme nom scientifique définitif de l'arbre (Baum, 1995b; Wickens, 1982). Cet arbre séculaire, imposant par sa taille est le plus massif des espèces ligneuses connues des savanes africaines. Contrairement aux autres espèces du genre *Adansonia* qui sont strictement endémiques à Madagascar ou en Australie, *A. digitata* est présent dans la plupart des régions subhumides à semi-arides du sud du Sahara. Remarquable par sa forme particulière et sa grande taille, le baobab est caractéristique des paysages de savanes en zones sahéliennes. Il tient une place prépondérante dans les cultures et les croyances autochtones et est souvent choisi comme emblème régional. Essentiellement exploité à l'état sauvage, le baobab produit des fruits dont la pulpe et les graines sont traditionnellement consommées par les populations locales (Assogbadjo *et al.*, 2006; Codja *et al.*, 2001; Sidibe & Williams, 2002).

### **1.1.1 Principales caractéristiques botaniques des espèces du genre *Adansonia***

Le genre *Adansonia* appartient à la famille des Bombacacées et à l'ordre des Malvales, au même titre que le kapokier ou le fromager (Adam, 1974; Kerharo & Adam, 1974). *A. digitata* L. présente sur le continent africain, est l'espèce la plus répandue et la mieux décrite à ce jour (Baum, 1995b). Certaines espèces, sont endémiques à Madagascar notamment, *A. grandidieri* Baill., *A. madagascarensis* Baill., *A. perrieri* Capuron, *A. rubrostipa* Jum. & H. Perrier, *A. suarezensis* H. Perrier et *A. za* Baill. L'espèce *A. gregori* est confinée au nord-ouest de l'Australie.

Le genre *Adansonia* comprend des arbres à feuilles caduques, des troncs massifs pouvant atteindre jusqu'à 30 m de hauteur. Toutefois l'espèce *A. gregori* atteint rarement 10 m tandis que les deux espèces, *A. rubrostipa* et *A. madagascarensis* peuvent monter de 5 à 20 m de hauteur (Baum, 1995b). Les couronnes sont généralement compactes et les troncs sont de forme cylindrique ou en forme de bouteille. Le diamètre du tronc peut varier de 2 à 10 m. L'écorce est de couleur rouge-grise et possède en interne des fibres longitudinales. Le bois est mou et disposé en feuilles avec la gomme mucilagineuse produite lorsqu'il est endommagé.

Les feuilles sont palmées, en spirale et caduques. Les stipules sont caduques et peuvent mesurer jusqu'à 2 mm. Chez *A. perrieri* les stipules sont persistantes et peuvent atteindre 15 mm.

Les fleurs sont simples, axillaires et il peut y en avoir jusqu'à 5 par apex de branche. Le pédoncule et pédicelles sont distincts. Les pédicelles portent 3 bractéoles caduques. Les bourgeons sont subglobuleux, ovoïdes ou cylindriques. Le calice de 5 lobes reliés enferme la fleur au moins 6 h avant l'anthèse. Les 5 pétales sont libres, insérées sur le tube staminal, peuvent être blancs, jaunes ou rouges. L'ovaire supère porte des poils.

Le fruit sec contient de la pulpe sèche et de nombreuses graines, dure et ligneuse, généralement indéhiscente. Les fruits sont très variables, généralement globuleux à ovoïde, mais parfois oblongue, souvent de forme irrégulière de 7,5 à 54 cm de long et 20 cm de large. Le fruit est couvert par des poils veloutés jaunâtres parfois verdâtre.

Les graines sont réniformes et incorporées dans la pâte. Elles sont de couleur brun-foncé à noir rougeâtre avec de taille variable (10-13 x 8-10 x 4-5 mm) en raison d'aplatissement latéral. Le poids des graines est en moyenne 2 à 3 g, avec 200-300 graines/kg.

*A. digitata* se distingue des autres espèces du genre par un certain nombre de caractères spécifiques. Il s'agit notamment de la fleur pendante, des bourgeons globuleux et des larges pétales. En outre, la couronne arrondie et irrégulièrement répartie de branchement, est l'un des caractères de diagnostic utile pour la caractérisation de l'espèce. Nous passerons rapidement ci dessous une revue des caractéristiques botaniques de chaque espèce malgache.

### **I.1.2 Les espèces de Baobabs**

Parmi les huit espèces de baobab du genre *Adansonia*, répertoriées à ce jour, sept sont présentes à Madagascar, dont six espèces sont endémiques de cette île (Baum, 1995b).

Ces différentes espèces sont caractéristiques des régions sèches et ont un grand intérêt pour les populations locales comme source de matières premières (fibre, nourriture, pharmacopée...) (Chadare *et al.*, 2009; Ralaimanarivo *et al.*, 1982) mais aussi d'un point de vue symbolique ou écotouristique (Marie *et al.*, 2009). De nos jours, la survie de ces arbres et des écosystèmes qui les abritent est directement ou indirectement menacée par les activités humaines comme la déforestation, les incendies, l'exploitation incontrôlée, et les changements climatiques (Hannah *et al.*, 2008.; Nicoll & Langrand, 1989; Wickens & Lowe, 2008)

Ces espèces sont classées en trois sections (Baumer, 1995; Perrier de La Bâthie & Hochreutiner, 1955):

- La section des *Brevetubae* qui comprend deux espèces : *Adansonia grandidieri* Baillon (région Ouest) et *A. suarezensis* H. Perrier (région Nord), caractérisées par des fleurs à pièces florales courtes, un nombre d'étamines supérieur à 700, des pétales blanches et une odeur peu agréable.
- La section des *Longitubae* comporte quatre espèces : *A. rubrostipa* Jum. & H. Perrier (régions Sud-Ouest, Ouest et Nord- Ouest), *A. za* Baillon (des régions Nord-Ouest au Sud), *A. madagascariensis* Baillon (régions Nord et Nord- Ouest) et *A. perrieri* Capuron

(région Nord). Les fleurs ont des pièces florales plus ou moins longues, un nombre d'étamines inférieur à 300. La couleur des pétales varie du jaune au rouge selon les espèces, et la fleur présente une odeur agréable.

▪ La section *Adansonia* comporte une seule espèce, *A. digitata* L. (région Nord-Ouest), le baobab africain. Cette espèce possède des fleurs pendantes « en pagode », avec de très nombreuses étamines exhalant une odeur.

### **I.1.2.1 Baobabs Malgaches**

Madagascar est le pays des *Adansonia* (Baum, 1995b). Sur les 8 espèces que comprend le genre, 6 espèces sont présentes uniquement sur Grand-île. Chaque espèce de baobab a évolué au sein de sa propre niche dans la forêt sèche où les espèces se chevauchent. Elles sont isolées les unes des autres d'une part par des différences dans leur saison de floraison et d'autre part par leurs systèmes de pollinisation (Nilsson *et al.*, 1993). Le baobab est en effet présent dans des zones à pluviométrie annuelle variant de 90 mm à 1400 mm. Il montre cependant une prédilection pour les zones de 200 à 800 mm de précipitations annuelles présentant une saison humide de 2 à 6 mois et une température moyenne annuelle comprise entre 20 et 30°C. Les graines sont généralement disséminées par zoochorie (dissémination par les animaux notamment par divers mammifères comme les singes, les rats, les écureuils, les éléphants ou par les oiseaux, et les humains), toute chose ayant contribué à cette remarquable extension d'aire de distribution (Baum, 1995b)

*A. digitata*, le baobab Africain est aussi présent à Madagascar, des Silam venus de Zanzibar ou des Comores l'y ont introduit, il est aujourd'hui largement naturalisé (Wickens & Lowe, 2008). Ces grands et beaux arbres à tronc monstrueusement renflé ont des utilités diverses. Tous produisent des graines oléagineuses, une pulpe farineuse employée comme remède ou aliment. *A. madagascariensis* et *A. za* ont des plantules dont la racine tubérisée constitue un excellent légume. Les baobabs sont distribués à travers les plaines de l'ouest, du nord jusqu'à l'extrême sud de l'île, à une altitude inférieure à 800 m (Wickens & Lowe, 2008). Les espèces telles que *A. za*, et *A. rubrostipa* sont particulièrement abondantes à l'ouest et au sud-ouest, avec des populations dispersées d'*A. perrieri* dans le domaine de Sambirano de la région Est malgache.

Le sous-genre *Brevitubae* est représenté par *A. grandidieri* et *A. suarezensis*. Ces deux espèces ont une habitude de croissance similaire et impressionnante, ils sont caractérisés par un grand fût cylindrique se terminant par des branches courtes maintenues dans une position nettement horizontale.

✓ *Adansonia grandidieri*

*A. grandidieri* se situe dans le sud-ouest de Madagascar entre le lac d'Ivoire (près de Morombe) et 50 km autour de Bereboka au nord de Morondava, où le climat est chaud et subhumide. *A. grandidieri* pousse sur des sables et calcaires humides dans la région Tsibombé. Les populations les plus connues sont celles qui poussent sur des sols alluviaux dans la région de Morondava, notamment au nord de Morondava et à proximité d'Andranomena, Bereboka et Marofandilia. *A. grandidieri* peut être retrouvée intacte, au sein de forêts sèches, à côté des points d'eau, les lacs et rivières saisonniers, bien que la majorité des baobabs poussent à proximité des villages et dans les fourrés dégradés. Les meilleures populations survivent et produisent dans le voisinage de Morombe, en particulier entre le fleuve Mangoky et Lac Ihotry, où elles constituent les arbres dominants de la forêt sèche.

Une rangée d'arbres *A. grandidieri* a été comparée à la nef d'une cathédrale (Du Puy, 1996; Guillaumet, 1984). Elles sont toutefois facilement distinguables par leur distribution. Dans la forêt de l'ouest, *A. grandidieri* est une splendeur dans le couvert végétal exprimant la beauté du bosquet de baobab, où le majestueux tronc rougit à la lumière du soleil couchant (Du Puy, 1996; Guillaumet, 1984).

*A. grandidieri* est le plus largement exploité des baobabs malgaches. La plupart des arbres matures d'aujourd'hui persistent dans les terres agricoles dégradées où se trouvent des broussailles et les restes de l'ancienne forêt feuillue sèche. Il y a toutefois un manque notable de la régénération naturelle (Decary, 1921; Nicoll & Langrand, 1989; Paulian, 1984); (Baum, 1995b).

*A. grandidieri* a en général, la fleur blanche, verte, tomenteuse (figure 1B). La surface extérieure du calice est de couleur rouge brune. L'écorce est fibreuse, le fruit très bon est analogue aux noisettes européennes et les graines sont recherchées pour l'alimentation (Baum, 1995b).





**Figure 1 : Aspect morphologique de *A. grandidieri*. A. Aspect général de l'arbre; B. Fleur de Brevitubae de *A. grandidieri*.**

(Photos issues de J.M Leong Pock Tsy, Bois et forêt des tropiques, 2011)

✓ *Adansonia suarezensis*.

*A.suarezensis* est limitée à la Baie d'Antiseranana (Diégo-Suarez) région, à l'extrême pointe nord de Madagascar, où le climat est chaud et sub-humide. Il se rencontre dans la forêt de feuillus, en particulier sur les collines calcaires. Les arbres se trouvent à proximité de la mer, dans les broussailles littorales fortement perturbées, telles que 2-5 km au sud de Antiseranana (Cap-Diégo) ou le long de la route de Ramena, près de la Montagne des Français. A l'ouest de la Baie d'Antseranana se trouvent plusieurs poches de forêt de feuillus relativement peu perturbées, certaines avec des densités relativement élevées d'*A. suarezensis* (Baum, 1995b). Plus récemment, une population a été identifiée plus au sud, dans la forêt entre les Mahory Ankarana et les Réserves Analamera. La répartition exacte de cette espèce est cependant encore mal connue. Des populations de ces grands arbres se produisent sur de fortes pentes au sein de la forêt de feuillus moins perturbés, comme le sud-ouest de la montagne des Français, des Babaomby (château de Windsor) et Beantely, une forêt proche de Antshampano (Baum, 1995b; Burt, 1996; Paulian, 1984).

Cette espèce d'*Adansonia* est localisée dans le secteur nord du domaine occidental, sur des rocaillles aux environs de la baie de Diégo-Suarez. Il serait intéressant de les protéger. Mais il y a pour cela d'autres raisons. Cet arbre croit sur des sols ou nulle

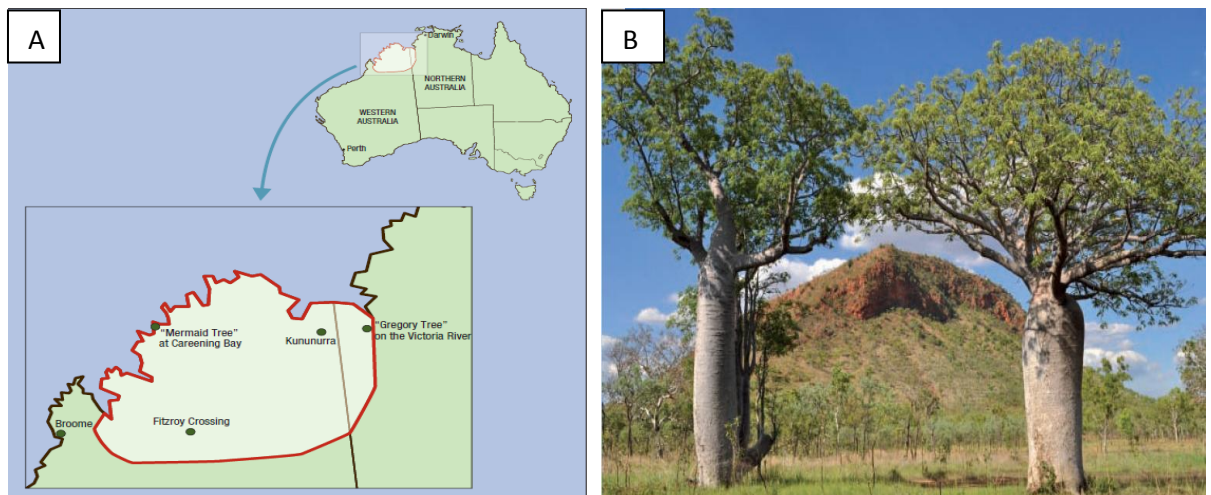
autre culture n'est possible. Sa multiplication est facile. Sa cellulose vaut sans doute celle des autres baobabs (Wickens & Lowe, 2008).

**La fleur** est verte, jaune, La surface extérieure du calice est verte. Les bourgeons floraux sont allongés (au moins 5 fois plus longue que large ou globuleux)

**Les graines** sont aussi grosses que celle de *A grandidieri*, sans connaître actuellement la valeur de la matière grasse qu'elles contiennent (Baum, 1995b; Chevalier, 1906).

#### ✓ *Adansonia gregorii*

*A. gregorii* *Adansonia gregorii*, fait partie intégrante du paysage du Nord-Ouest de l'Australie, ils se situent dans la région de Kimberley près de la rivière Victoria (Figure 1A). *A. gregorii* est largement distribués le long de lits de ruisseaux et sur les plaines (Baum, 1995b; Chevalier, 1906). C'est un arbre dont la hauteur moyenne est de 15 m, cependant certains arbres peuvent atteindre une hauteur de 20 m ; son tronc peut avoir des formes très variées, mais a tendance à avoir des tiges assez bulbeuses (photos 1B). **L'écorce** du tronc est lisse et gris ou de couleur bronze. Au cours des "saisons sèches" mois de mai à Octobre, ils sont généralement sans, feuilles mais retrouvent rapidement une couverture de feuilles aux alentours de Novembre, qui précède la « saison des pluies ».



**Figure 1 : La carte et l'aspect morphologique de l'arbre**  
(Photos issues de J.M Leong Pock Tsy, Bois et forêt des tropiques, 2011)

**Les fleurs** grandes et voyantes, blanc crème (figure 2) apparaissent très tôt dans la saison (souvent avant les pluies de Novembre-Décembre) puis jusqu'à la fin de la saison des pluies (généralement en Avril-Mai).

Les fleurs individuelles sont de courte durée et sont pollinisées la nuit, principalement par faucon papillons de nuit. Chauves-souris frugivores, les chauves-souris et éventuellement d'autres oiseaux également visiter les fleurs, mais semblent avoir peu d'implication dans la pollinisation (Baum, 1995b; Chevalier, 1906).



**Figure 2 : Aspects morphologiques de la fleur d'*Adansonia gregorii***  
(Photos issues de J.M Leong Pock Tsy, Bois et forêt des tropiques, 2011)

**Les fruits** gousses sont en grand nombre sur l'arbre, Leur forme est variable ; ils peuvent être de formes sphériques de petites tailles, à oblongues avec les caractéristiques suivantes, 150-180 mm de long et 100 mm de diamètre (figure 3).

**La pulpe** est comestible et peut également être mélangé avec de l'eau pour faire une boisson rafraîchissante.

**Les graines** trop, peut-être mangé cru ou grillé et peut être broyé pour faire de la farine.



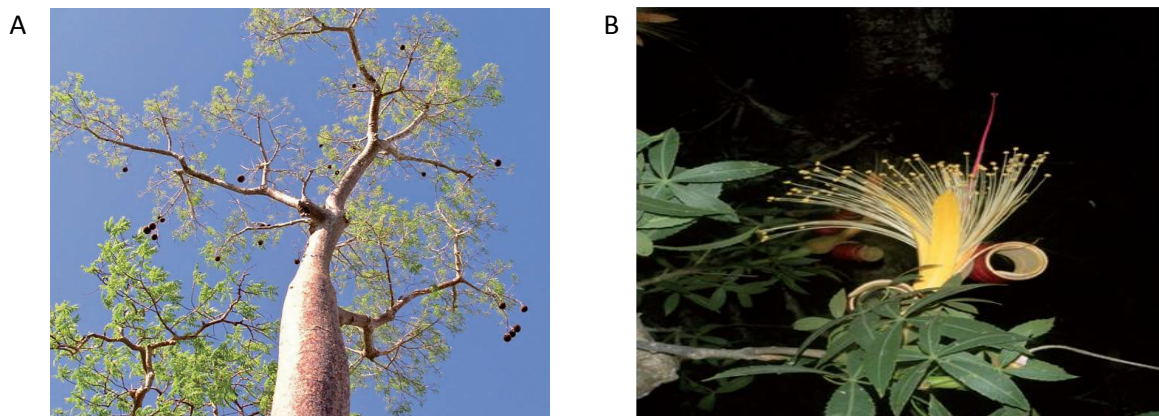
**Figure 3 : Aspects morphologiques du fruit d'*Adansonia gregorii***  
(Photos issues de J.M Leong Pock Tsy, Bois et forêt des tropiques, 2011)

✓ *Adansonia rubrostipa*

*A. rubrostipa* s'étend le long de la côte ouest de Madagascar, à partir de Soalala dans le nord-ouest, et près d'Itampolo dans le sud-ouest. Le climat varie de sub-aride dans le sud, à semi-humides dans le nord. C'est une espèce très plastique, formant de grands arbres cylindriques dans les forêts de feuillus dans le nord et de petits arbres en forme de bouteille dans les forêts épineuses arides. Cette espèce se trouve principalement sur les sols calcaires bien drainés.

Perrier de La Bâthie & Hochreutiner, 1955 ont rapporté qu'*A. rubrostipa*, pousse sur des calcaires karstiques érodés dans les Tsingy de Namoroka et sur les sables près de Soalala. Près de Morondava, c'est une espèce importante de la forêt, ainsi que dans les localités d'Andranomina, Marofandelia et Kirindy. De nombreux baobabs sont présents en ces lieux, et dominent probablement dans la biomasse. A l'Est de Morondava, il y a un schéma complexe de zones dominées par *A. grandidieri*, *A. rubrostipa* et *A.za*. (Baum, 1995b). Decary (1921) a rapporté qu'*A. rubrostipa* pousse sur les roches cristallines dans la zone de Tsibombé, surtout vers le sud-est de Tsimilofo. Dans le sud de l'île, *A. rubrostipa* pousse dans la forêt et sur les plateaux de calcaire à proximité de Toliara où il côtoit *A.za*. Les arbres sont dispersés, près de Lac Tsimanampetsotsa où ils poussent sur des sols sableux. Cependant, sur le plateau calcaire à l'est de Toliara, ils sont présents dans les broussailles épineuses. (Baum, 1995b).

Les boutons floraux sont de 15-28 cm et les pétales jaunes ou rouges (figure 2). Le baobab produit généralement peu de fruits, mais de grande taille. La pulpe qui entoure les graines présentes des qualités nutritives élevées. *A. rubrostipa*, le faible effectif de ses fruits peut s'expliquer par la prédation de fruits non matures par le primate propithèque (*Propithecus verreauxi*).



**Figure 2 : Aspect morphologique *A. rubrostipa*. (A). Aspect général de l'arbre ; (B). Fleur de Longitubea de *A. rubrostipa*.**

(Photo issue de Rasoamanana, Bois et forêt des tropiques, 2011, Photo J. Tassin)

### ✓ *Adansonia perrieri*

Deux populations d'*A. perrieri*, ont été décrites pour la première fois par (Capuron, 1960): l'une dans le Parc National Montagne Dambre et l'autre sur le plateau de l'Ankarana. A ce jour, l'espèce n'est encore connue que sur cinq sites. D'autres populations inconnues restent certainement encore dans la zone (Baum, 1995a). Le climat de la région est chaud et humide (Paulian, 1984). Dans la Montagne d'Ambre une population se compose d'une douzaine de très grands arbres, atteignant jusqu'à 30 m de haut, et poussant sur les rives de la rivière des Makis à environ 650 m d'altitude dans la forêt semi-décidue sur les sols basaltiques. A l'ouest de la montagne d'Ambre, le long de la rive de l'Andranofanjava, sur le plateau de l'Ankarana et à proximité d'Ambondromifehy, il y a une population dispersée de petits *A. perrieri* (Capuron, 1960). Quelques arbres se retrouvent dans la forêt de feuillus, ailleurs sur le plateau, y compris la forêt Mahory (Baum, 1995b).

Les fleurs ont des marges entières, médiales de plus de 2 cm de large (figure 3). Les folioles sont de forme ovale à elliptique. Les stipules sont persistantes et les fruits sont pédonculés et non gonflés. Elle diffère de tous les *Adansonia* de par ses fleurs d'un blanc pure, mate. Toutefois, ses graines contiennent une huile analogue à celle de *A. digitata* de même que ses graines germent et se développent sur des sols secs et arides (Baum, 1995b).





**Figure 3 : Fleur Longitubae de *A. perrieri*.**

Photo issue d'E. Raktoarisoa, Bois et forêt des tropiques 2011)

✓ *A. madagascarensis*

Il a eu beaucoup de confusion au sujet de la répartition d'*A. madagascarensis* et *A.za* (Perrier de La Bâthie & Hochreutiner, 1955). Malgré une connaissance considérable de ce genre par Perrier de La Bâthie, cet auteur a conclu à tort que *A. madagascarensis* s'étendrait de l'extrême nord de Madagascar jusqu'à Ambovombe dans le sud-est (Perrier de La Bâthie & Hochreutiner, 1955). Au contraire, Nicoll & Langrand (1989) ont affirmé que les deux espèces se situent dans la zone autour de Zombitse. Rajeriarison *et al.*, (2000) ont également noté la présence de *A. madagascarensis* dans la forêt à feuilles persistantes de la Réserve Naturelle Intégrale de Bemaraha. La révision du genre par (Baum, 1995b) a permis d'identifier tous les spécimens du Sud comme étant *A.za* tandis que *A. madagascarensis* se distribue à partir de Antsiranana au sud de la région de Sambirano et dans une moindre mesure à Ankara (région Boina) et peut-être à Soalala (région Ambongo) dans le nord-est. Il pousse généralement sur les sols calcaires et est parfois perchés sur des falaises et des calcaires. Il se développe également sur le grès et le gneiss. Autour de la Baie d'Antsiranana, *A. madagascarensis* peut se trouver à quelques mètres de la ligne des hautes eaux, sur la route de Ramena et dans la ville d'Antsiranana elle-même (Baum, 1995b; Kondo, 1997). *A. madagascarensis* préfère les précipitations relativement élevées, les sols basaltiques et les abris fournis par les canyons du plateau Ankarana soutenant une couverture forestière dense, elle constitue l'une des espèces dominantes (Cardiff & Befourouack,

2003). L'espèce côtoie avec d'autres espèces d'*Adansonia* tels que *A. suarezensis* et *A. za* à proximité de Maromandia. Trehwella *et al.*, (2001) ont également rapporté sa présence à Mayotte dans les Comores.

Ces fruits sont généralement plus larges que longs. Il a été trouvé aux environs de la baie de Diégo-Suarez (Baum, 1995b; Chevalier, 1906).

#### ✓ *A. za*

*A. za* est le baobab le plus répandu à Madagascar, et c'est l'espèce qui possède l'écologie la plus diverse. Cette espèce est distribuée à partir d'Andohahela et du fleuve Mandrare. Elle est l'espèce dominante dans certaines des forêts de feuillus du sud autour d'Analava et à l'ouest de Betioky. Elle est aussi dominante autour de Sakaraha et à l'est des forêts d'Ankilizato. Elle est moins abondante dans les zones de climat chaud et humide au nord-ouest où elle est concentrée près des rivières (Baum, 1995b; Paulian, 1984).

De plus en plus de populations d'*A. za* émergent sur les sols sablonneux et sont dispersées à travers les bois de *Didieraceae* dans le sud aride. D'autres populations se situent dans des bois feuillus sclérophylles et les taillis où elles constituent les espèces dominantes ou co-dominantes. *A. za* se retrouve aussi dans les savanes dégradées.

Dans le domaine Tsibombé, Decary, (1921) a rapporté des *A. za* croissant sur les sables provenant de gneiss décomposés, en alluvions de sable sur la rive gauche du fleuve Menarandra à l'est d'Ampotaka, sur les sables calcaires et près de la mer. Salak, (2002) a observé des géants atteignant jusque 8,9 m de diamètre au nord de Morombe. *A. za* pousse en faible densité dans les régions boisées de Morondava. Par exemple, dans la forêt kirindy. *A. za* est très rare dans la majeure partie de la forêt, mais dans la zone basse de la rivière Kirindy, elle atteint une certaine abondance.

Les facteurs édaphiques, biotiques ou historiques responsables de la répartition d'*A. za* et *A. rubrostipa* dans Kirindy ne sont toujours pas résolus et sont dignes d'attention. La description de la préférence en micro-habitats des deux baobabs dans Kirindy pourrait aider à une meilleure compréhension de la distribution des deux espèces (Wickens & Lowe, 2008). Dans le nord-ouest, *A. za* se trouve principalement dans les terres agricoles très dégradées, en particulier près de la rivière. Cependant, il se retrouve relativement intact dans quelques localités, de forêts sèches sur des sols sablonneux ou calcaires, comme dans la réserve d'Ankarafantsika. Plus au nord, dans la région de

Sambirano, *A. za* survit dans les forêts semi-décidues, suivant le long des rivières. La majorité des baobabs dans la zone est désormais limitée par les plantations de café, de cacao ou de noix de cajou (Baum, 1995b; Nicoll & Langrand, 1989) rapportent la rareté d'*A. za* dans la forêt tropicale de la Réserve Manongarivo.

Les fleurs sont de couleur orange pâle, parfois jaunes teintées de rouge à la base. Les folioles sont lancéolées ou elliptiques et les stipules caduques. Les fruits sont pédonculés et gonflés et sont en général plus longs que larges. Dans le domaine sub désertique du sud-ouest, où habite la forme typique, c'est un arbre ne dépassant pas 12 à 15 m de haut et possédant un tronc diversement renflé (Baum, 1995b; Chevalier, 1906).

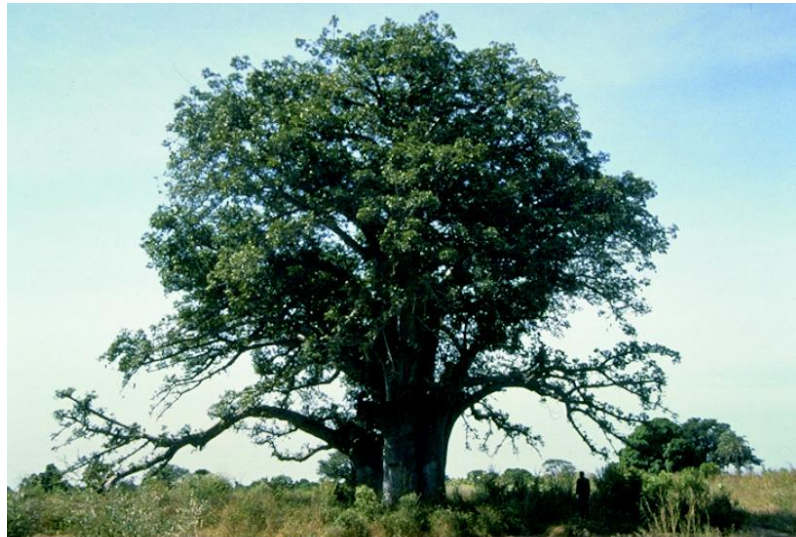
### **I.1.2.2 Le baobab africain**

*Adansonia digitata* est un arbre imposant et très massif à cime arrondie (figure 4). Il mesure couramment entre 15 et 20 m de haut. Son tronc cylindrique, souvent renflé à la base, peut atteindre 10 m de diamètre. Les fleurs et les fruits sont portés par de longues tiges pendantes. Les pétales sont aussi larges que longs (Baum, 1995b; Chevalier, 1906).

Bien que la dendrochronologie ne puisse être utilisée sur de vieux arbres du fait de la présence fréquente de creux dans le tronc, ceux dont le diamètre est supérieur à 5 m correspondraient à des individus très probablement âgés de plus 1000 ans (Berhaut, 1974; Kerharo & Adam, 1974; Patrut *et al.*, 2007; Wickens, 1982). La cime de *A. digitata* est arrondie et souvent assez régulière. La description des principaux éléments caractéristiques de la plante a donné lieu à diverses publications (Berhaut, 1974; Bonassieux, 1988; Sidibé & Williams, 2002). Le tronc se ramifie au sommet en plusieurs branches courtes et larges, souvent irrégulières et tortueuses. Il est constitué de tissus parenchymateux, riches en mucilages et gorgés d'eau, permettant à la plante de faire face aux longues périodes de sécheresse. La quantité d'eau emmagasinée est très importante, estimée pour certains individus à plus de 120 m<sup>3</sup> (Diop *et al.*, 2005). Son bois est très mou, fibreux et spongieux et n'a pas d'utilisation commerciale. Son écorce épaisse est molle et fibreuse. Elle est recouverte d'une pellicule lisse, gris argenté, parfois brunâtre ou violacée. Elle exsude une gomme en cas de blessure. Les feuilles atteignent jusqu'à 20 cm de diamètre (figure 5). Caduques en saison sèche, elles sont alternes, digitées et présentent cinq à sept folioles oblongues (2 à 7 cm × 5 à 16 cm),



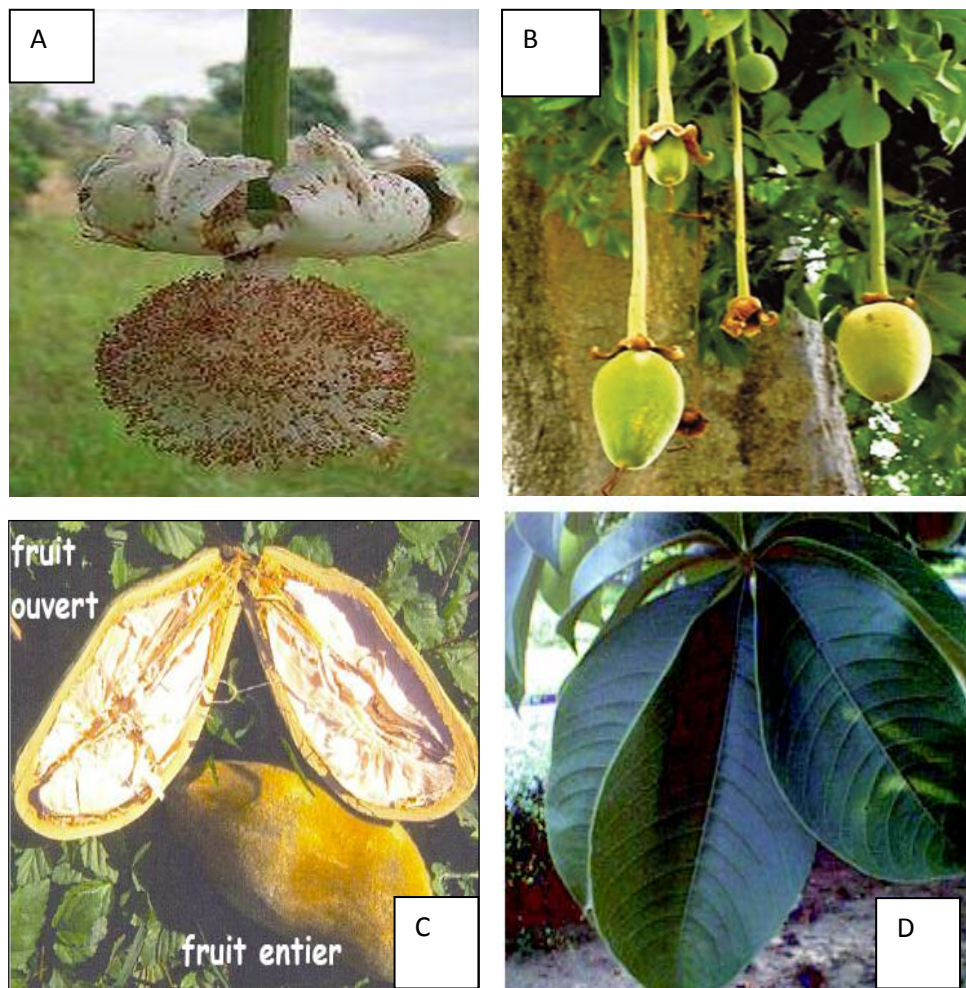
longuement pétiolées de 8 à 16 cm, acuminées, décurrentes à la base, qui comportent 13 à 20 paires de nervures secondaires. Le limbe, à marge entière ou denticulée, est le plus souvent glabre et brillant sur sa face supérieure et légèrement pubescente sur sa face inférieure (Kerharo & Adam, 1974; Wickens, 1982). Les fleurs sont de couleur blanche (figure 5). Elles mesurent de 8 à 20 cm de diamètre et sont suspendues à un pédoncule de 15 cm à 1 m de long. *A. digitata* est ainsi la seule espèce qui présente des fleurs pendulaires, les autres espèces sont caractérisées par un pédoncule court. Les pétales sont ovales, aussi larges que longs, arrondis à leur extrémité et souvent légèrement pubescents. Ils présentent de très nombreuses nervures rayonnantes. Les fleurs comportent de 700 à 1600 étamines et des ovaires de cinq à dix loges. Le bouton floral est globuleux ou ovale et mesure de 5 à 7 cm de diamètre. Son apex est conique ou apiculé (Diop *et al.*, 2005).



**Figure 4 : Aspect morphologique du baobab africain *A. digitata*.**  
(Illustration issues de (Diop *et al.*, 2005))

Le fruit, aussi appelé pain de singe, est de forme et de taille assez variables. Il est le plus souvent ovoïde (figure 5), mais il peut également présenter une forme sphérique, fusiforme, très allongée ou en massue (7 à 20 cm × 7 à 54 cm). Il pèse entre 150 et 350 g. L'apex parfois apiculé est pointu ou arrondi. L'épicarpe très lignifié a une épaisseur de 0,8 à 1 cm. Sa surface est duveteuse, de couleur brunâtre, jaunâtre ou verdâtre. Les graines noires à brun foncé, mesurent 10 à 13 mm × 8 à 10 mm × 4 à 5 mm et pèsent environ 0,4 g. Elles sont noyées dans une pulpe sèche, crayeuse, blanche à crème, et fragmentée en morceaux anguleux qui sont reliés entre eux par un enchevêtrement de grosses fibres brunes rougeâtres. L'amande qui représente environ

55 % du poids de la graine est difficile à séparer de ses téguments et renferme une huile comestible (Kerharo & Adam, 1974). L'arbre développe un système racinaire latéral assez important. Les racelles peuvent s'étendre jusqu'à 50 m du tronc et 10 m de profondeur. Ce volume d'exploitation souterraine permet aux baobabs de trouver l'eau nécessaire à leur végétation. Néanmoins, les racines principales dépassent rarement quelques mètres et restent superficielles. Certaines d'entre elles sont tubérisées à leur extrémité (Diop *et al.*, 2005). Les différentes espèces de baobabs ont pu être caractérisées par un certain nombre d'éléments (Sidibe & Williams, 2002; Soloviev *et al.*, 2004 ; **tableau 1**).



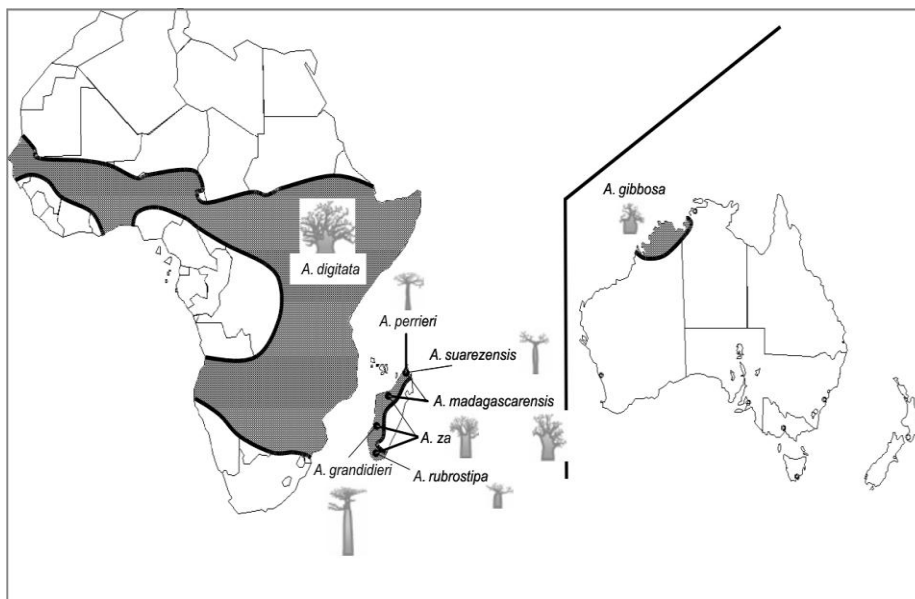
**Figure 5 : Aspects morphologiques de la fleur (A), du fruit (B-C) et des feuilles digitées (D) d'*Adansonia digitata*.**  
(illustrations issues de Diop *et al.*, 2005)

**Tableau 1 : Éléments comparatifs entre les espèces du genre *Adansonia*.**

Espèce localisation]	Taille <sup>1</sup> (m)	Morphologie		Fleur	Feuille	Écorce	Fruit
	H Øtronc	Tronc	Cime				
<i>A. digitata</i> L. [Afrique]	20-7	Massif, cylindrique	Souvent régulière, arrondie	Ø 8–20 cm, aussi longue que large Port pendulaire (pédoncule 10–100 cm) Pétales courts (4–9 cm), blancs Bouton floral globuleux 5–7 cm	Alternes, jusqu'à 20 cm de Ø 5–7 folioles oblongues [(2–7 × 5–15) cm], acuminées à l'apex, décurrentes à la base, pétiole 8–16 cm, limbe entier ou denticulé	Grise à violacée, lisse, parfois irrégulièrement tuberculée	Pendulaires, ovoïdes à oblongs (7–20 × 7–54 cm), 150–350 g, épicarpe très lignifié et duveteux (0,8–1 cm), brunâtre à jaunâtre ou verdâtre
<i>A. grandidieri</i> Baill. [Madagascar]	25-3	Élancé, légèrement conique	Irrégulière, aplatie	Port érigé Pétales blancs, rougeâtres ou jaunâtres	9–11 folioles glauques, étroites, lancéolées, pubescentes, pétioles courts	Rouge grisâtre, lisse	Sphériques, rougeâtres, épicarpe peu épais et fragile, grosses graines, environ 300 g
<i>A. madagascariensis</i> Baill. [Madagascar]	15-5	Massif, cylindrique	Irrégulière, arrondie	Port érigé (pédoncule court) Pétales longs (13 cm) rouges Bouton floral 15–28 cm	5–7 folioles elliptiques, larges (plus de 2 cm), pétioles 6–7 cm	Gris clair, lisse	Légèrement ovoïdes (Ø ≈ 10 cm), souvent plus larges que longs
<i>A. perrieri</i> Capuron [Madagascar]	15-2	Élancé, légèrement conique	Irrégulière, aplatie	Port érigé (pédoncule court) Pétales longs, blancs ou jaunâtres Bouton floral 15–28 cm		–	
<i>A. rubrostipa</i> Jum. & H. Perrier [Madagascar]	5-3	Massif, Cyllindro conique	Irrégulière, aplatie	Port érigé Pétales jaunes ou oranges Bouton floral 15–28 cm	Folioles dentelées, étroites (moins de 2 cm)	Marron rougeâtre, rugueuse	Sphériques, environ 200 g
<i>A. suarezensis</i> H. Perrier [Madagascar]	15-2	Élancé, cylindrique	Régulière, aplatie		6–9 folioles oblongues, arrondies ou acuminées, minces, membraneuses, rugueuses, pétioles 0,4–0,8 cm	–	Allongés, épicarpe dur et ligneux, grosses graines
<i>A. za</i> Baill. [Madagascar]	15-5	Massif, cylindrique	Irrégulière, arrondie	Port érigé (pédoncule court) Pétales longs, jaunes à rouges Bouton floral 15–28 cm	3–7 folioles lancéolées ou elliptiques, larges (plus de 2 cm), atténués à la base et acuminés au sommet, pétioles 6–12 cm	Grise	Ovoïdes, 10–30 cm de long, environ 200 g, couleur foncée
<i>A. gregorii</i> (A. Cunn.) Guym. ex D. Baum [Australie]	10-5	Massif, cylindroconique	Irrégulière, arrondie	Port érigé (pédoncule court) Pétales longs (18–20 cm), blancs ou crèmes Bouton floral 10–15 cm	3–7 folioles oblongues, cunéiformes, acuminées, larges (plus de 2 cm)	Grise, lisse	Ovoïdes

1 Valeurs caractéristiques. H = haut, (Sidibe M. & Williams J.T., 2002; Soloviev P. *et al.*, 2004).

*A. digitata* est une espèce indigène des steppes sahéliennes et des savanes soudano-sahéliennes. (Guinko, 1988; Leong Pock *et al.*, 2010; Sidibe & Williams, 2002; Wickens, 1982). Cette espèce de baobab est présente dans la plupart des régions semi-arides et subhumides du sud du Sahara (figure 6). Elle est souvent localisée à proximité des habitations. La zone de distribution du baobab est très vaste. À l'ouest, elle s'étend du Cap-Vert aux plaines côtières du Ghana, Bénin et Togo. Au nord, elle est limitée par le Sahara. En Érythrée et en Somalie, l'arbre est typique des plaines, tandis qu'au Soudan il se développe dans les montagnes du Nouba et jusqu'à 1500 m d'altitude en Éthiopie. Au Kenya et plus au sud vers le Mozambique, les populations d'*A. digitata* sont côtières ou dispersées dans les zones de basses altitudes et dans la savane. En Angola et en Namibie, elle est plutôt trouvée dans les régions boisées, tandis qu'au Zimbabwe et au nord de l'Afrique du Sud, c'est une composante de la savane (Mullin, 2003; Wickens, 1982). Elle est également répandue dans certaines zones au climat plus équatorial comme au Gabon (Sillans, 1961; Walker, 1953) ou en république démocratique du Congo et sur les îles africaines à saison sèche marquée Ouest de Madagascar, Comores, Sao Tomé. Cette vaste zone de distribution sur le continent africain est notamment liée au peu d'exigences de la plante quant à la qualité du sol, avec néanmoins une préférence pour les sols calcaires, et une large gamme de conditions climatiques favorables (Guinko, 1988; Le Bellec *et al.*, 1997; Leong Pock *et al.*, 2010; Sidibe & Williams, 2002; Wickens, 1982).



**Figure 6 : Aire de répartition approximative de 8 espèces de baobab en Afrique continentale.**  
(Diop *et al.*, 2005)

Les principaux noms vernaculaires que porte le baobab en Afrique continentale ont pu être répertoriés (**tableau 2**, Sidibe & Williams, 2002; Wickens, 1982).

Au Sénégal, des peuplements d'*A. digitata* sont présents dans tout le pays. Selon l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), les deux principales zones productrices de pain de singe sont les régions de Kaolack et de Tambacounda, notamment sur les axes Kounguel-Kossanar et Bakel-Goudiri avec des peuplements très conséquents à Salémata, Fongolembi et Kédougou (Diop *et al.*, 2005). Des populations plus dispersées sont également exploitées pour la production de fruits dans les régions de Thiès (notamment Nguekhokh et Tivaouane), Louga, Matam et Saint-Louis (Kerharo & Adam, 1974). Notons enfin que le baobab a été exporté d'Afrique, notamment par les commerçants arabes, portugais et français (Baum, 1995b; Wickens, 1982). Il est ainsi localement implanté dans de nombreuses régions d'Asie (Inde, Sri Lanka, Malaisie, Java, Philippines, Taiwan), dans le sud de la péninsule Arabique, dans bon nombre d'îles de l'arc caraïbe, en Guyane, en Floride, à Hawaï, à l'île de la Réunion, ou encore en Nouvelle- Calédonie (Baum, 1995b; Burton-Page, 1969; Wickens, 1982).

**Tableau 2 : Quelques noms vernaculaires pour *Adansonia digitata* L.**

	Langues	Noms vernaculaires
<b>Afrique occidentale</b> <b>Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Mali, Sénégal</b>	Bambara	Sira
	Baoulé	Fromdo
	Diola	Bubak, buba, bubakabu
	Dogon	Oro
	Malinké	Bavdi, sirra, boki
	Mandingue, Socé	Sito, sira
	Maure	Téydum, téyhum, téyduma
	Moré	Trega, twega, toayga, toéga
	Niominka	Bak
	Poular, Toucouleur	Boy, boïo, bore, bôki,, boko
	Sarakolé	Kidé
	Sérère	Bâk, mbak
	Wolof	Guy
<b>Afrique centrale</b> <b>Niger, Nigeria, Tchad</b>	Arabe (Tchad)	Hamar, hamaraya, hahar
	Foulani	Boki
	Haoussa	Kuka
<b>Afrique orientale</b> <b>Egypte, Ethiopie, Kenya, Mozambique, Somalie, Soudan, Tanzanie, Zimbabwe</b>	Amhara	Bamba
	Arabe (Soudan)	Habhab, Tebeldi, humr, homeira
	Chichewa	Mnambe, Mlambe
	Kamba	Mwambo
	Masaï	Olimisera
	Mérou	Muramba
	Ndebele	Umkhomo
	Somalie	Yag
	Swahili	Mbuyu
	Yao	Mlonje

(Kerharo & Adam, 1974; Sidibe & Williams, 2002; Wickens, 1982)

### I.1.3 Phénologie

Le temps de floraison varie considérablement. Mais en général, elle peut se produire à n'importe quelle saison sauf pendant la haute saison sèche, en présence des feuilles ou non.

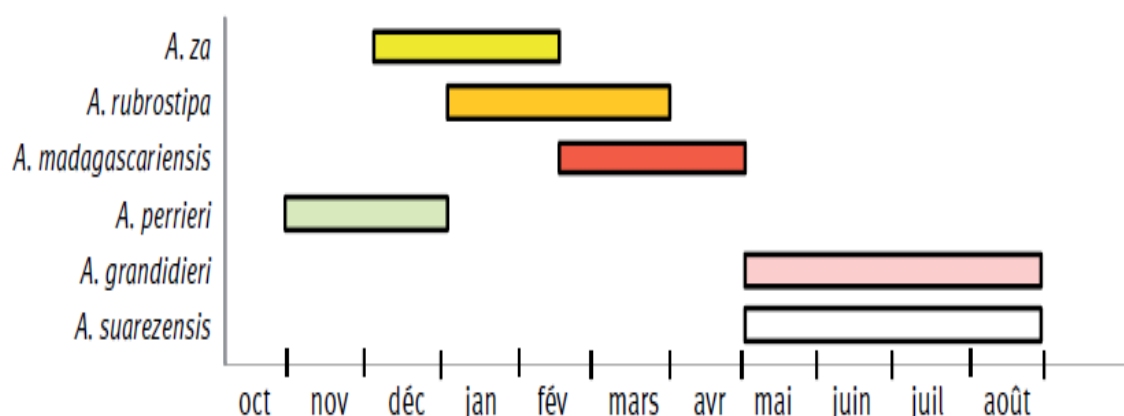
Les relevés effectués en 2008 (Philippe *et al.*, 2011) montrent que les Longitubae (*A. perrieri* ; *A. madagascariensi* ; *A. za* et *A. rubrostipa*) fleurissent de novembre à avril, ce qui correspond à la saison des pluies à Madagascar (figure 7). Les pics de floraison s'observent à la mi-novembre chez *A. perrieri*, à la mi-décembre pour *A. za*, en février pour *A. rubrostipa* et en mars pour *A. madagascariensis*. *Adansonia za* et *A. rubrostipa*

ont une période de floraison synchrone en janvier-février, tandis que les floraisons de *A. rubrostipa* et *A. madagascariensis* se chevauchent en février-mars. Il ne semble pas y avoir de période de floraison commune entre *A. za* et *A. madagascariensis*. Cependant, il n'y a pas beaucoup de données confirmant cette séquence pour la vaste gamme de baobab. La floraison correspondant essentiellement, à la saison des zones climatiques particulières se situe d'octobre à décembre en Afrique australe et de mai à juin au Soudan et en Afrique occidentale (Baum, 1995b; Wickens, 1982, figure 7).

Les fleurs s'ouvrent un peu avant la tombée de la nuit (17 h 00 - 18 h 30) chez les Brevitubae, et un peu plus tardivement chez les Longitubae (18 h 30 - 19 h 30) (figure 8). Les fleurs restent ouvertes de deux à six jours selon les espèces. Les fleurs de Brevitubae s'épanouissent de mai à août (saison sèche), avec un pic en juin-juillet. Un début de fanaison apparaît dès le matin qui suit l'ouverture, avec un changement de couleur des pièces florales (Baum, 1995b).

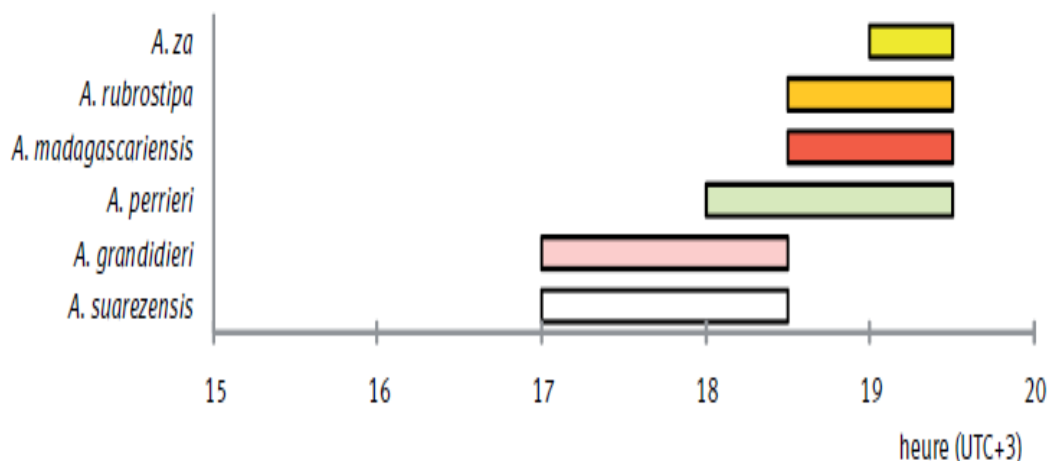
Le matin, après l'ouverture de la fleur, le calice et la corolle sont redressés et laissent émettre les étamines. Les fleurs flétrissent progressivement jusqu'à la fin des après-midi. La corolle se dessèche et tombe, mais le calice persiste. Baum, (1995b) et Wickens (1982) pensent que la pollinisation se produit sur une période de 16-20 h. Les fruits se développent entre 5 et 6 mois après la floraison. Il y a peu de données sur l'âge des arbres lorsque la première floraison commence. Wickens (1982) signale une moyenne de 16 à 17 ans en Afrique du Sud et de 22 à 23 ans au Zimbabwe.

La phénologie des espèces apparentées et endémiques malgaches (autres que *A. digitata*) a été examinée par Baum à Madagascar et dans le nord ouest d'Australie où *A. gregorii* est endémique (figure 8). De grandes similitudes entre les phénologies ont pu être notées. Les fleurs s'ouvrent en fin d'après midi et se prolonge toute la nuit. Leur nombre par arbre varie de 1 ou 2 à 10-50 (Assogbadjo *et al.*, 2005; Chevalier, 1906).



**Figure 7 : Périodes de floraison des six espèces de baobabs Malgaches.**  
(Données 2008-2010) Philippe et al, (2011)





**Figure 8 : Gamme d'heures d'ouverture des fleurs des Baobabs endémiques à Madagascar.**

(heure temps universel coordonné +3) Philippe et al ..(2011)

#### I.1.4 Culture et production

Les fruits du baobab sont en général récoltés sous forme sauvage. Toutefois, le baobab africain (*A. digitata*) fait l'objet ces dernières décennies de processus de domestication et de production (Bationo *et al.*, 2009; Savard *et al.*, 2002).

##### I.1.4.1 Récolte et Culture

Dans la plupart des cas, le baobab n'est pas cultivé. Il est exploité comme ressource forestière naturelle. Néanmoins, l'exploitation contrôlée de la plante pour une production de fruits est à l'étude. Des essais sont également menés au Mali pour la production de feuilles (Gustad, 2001). Récemment, le Centre International de Recherche en Agroforesterie (ICRAF) et l'Institut d'économie rurale (IER) du Mali ont commencé à vulgariser une technique de domestication du baobab. Les paysans volontaires reçoivent des graines de baobab pour les semer comme un légume sur un lopin de leur choix. Le but premier est la production de feuilles en saison sèche. Celles-ci sont récoltées lorsque les plants atteignent environ 30 cm de hauteur. Les plants garderont cette hauteur par le biais des coupes ultérieures. La consommation de feuilles fraîches de baobabs pendant la saison sèche permettrait de diminuer les carences en vitamine A chez les maliens.

Le baobab se propage ou se multiplie habituellement par semis direct (Samba, 1995; Sidibe & Williams, 2002; Wickens, 1982). Un kilogramme de semences contient



entre 2000 et 3000 graines. La germination requiert 3 à 5 semaines. Afin de l'accélérer, les graines sont traditionnellement soit scarifiées, soit immergées avant semis 1 à 2 jours dans de l'eau froide ou une quinzaine de minutes dans de l'eau bouillante. Les taux de germination sont dans ce cas souvent médiocres, parfois inférieurs à 10 %. Un trempage dans une solution d'acide sulfurique ou nitrique concentrée suivi d'un rinçage à l'eau froide permet d'obtenir un taux de germination supérieur à 86 %.

Les durées de traitement recommandées sont très variables selon les auteurs : 15 min à 12 h pour le trempage acide et 10 min à 24 h pour le rinçage (Danrhu *et al.*, 1995; Razanameharizaka *et al.*, 2006).

Généralement, les semis se font en godet par paquet de trois graines 3 à 5 mois avant la saison des pluies. Les plantules émergent de terre après 4 jours à 3 semaines. Compte tenu de la taille des individus adultes, l'écartement doit être important (> 10 m) (Anon, 2003b; Diop *et al.*, 2005).

Le baobab commence à produire des fruits 8 à 23 ans après la germination si l'arbre développe son fût sans entrave et si son feuillage n'est pas abusivement récolté (Sidibe & Williams J.T., 2002). Les pousses du baobab étant broutées par le bétail, il est nécessaire de les protéger. Dans des conditions pédoclimatiques satisfaisantes, la croissance peut être assez rapide; environ 3 cm/an en diamètre et de 0,8 à 2 m/an en hauteur (Anon, 2003a; Kerharo J. & Adam J.G., 1974; Sidibe & Williams J.T., 2002). La quantité annuelle de fruits produits par arbre semble très variable, mais elle serait en moyenne de 200 kg (Sidibe & Williams., 2002).

La production est parfois alternante, des arbres ne produisant aucun fruit certaines années. Le baobab se prête bien à la multiplication végétative par bouturage de tiges ou par greffage (Sidibe & Williams ., 2002). Une technique de greffage mise au point au Mali utilise des plants d'environ 3 mois comme porte-greffe. Les greffons sont prélevés sur des individus choisis pour la qualité de leurs fruits (richesse en vitamine C, par exemple). Le taux de réussite est compris entre 46 et 98 %. Cette technique permet non seulement d'obtenir des plants appropriés pour la production de fruits, mais conduit également à des arbres plus petits. Ce qui facilite la récolte des fruits, et surtout à des floraisons observées dès la troisième année. Cela représente un avantage considérable par rapport à la propagation par semis.

La récolte des feuilles du baobab sauvage prend du temps, car la plupart des arbres sont éloignés des ménages. Il y a aussi l'insuffisance de feuilles, particulièrement

pendant la saison sèche. Pour lever ces contraintes, le Centre International de Recherche en Agroforesterie (ICRAF, 2001) a mis en place une technologie permettant d'offrir suffisamment de feuilles de baobab dans un temps court à une hauteur accessible pour une récolte plus aisée (figure 9).

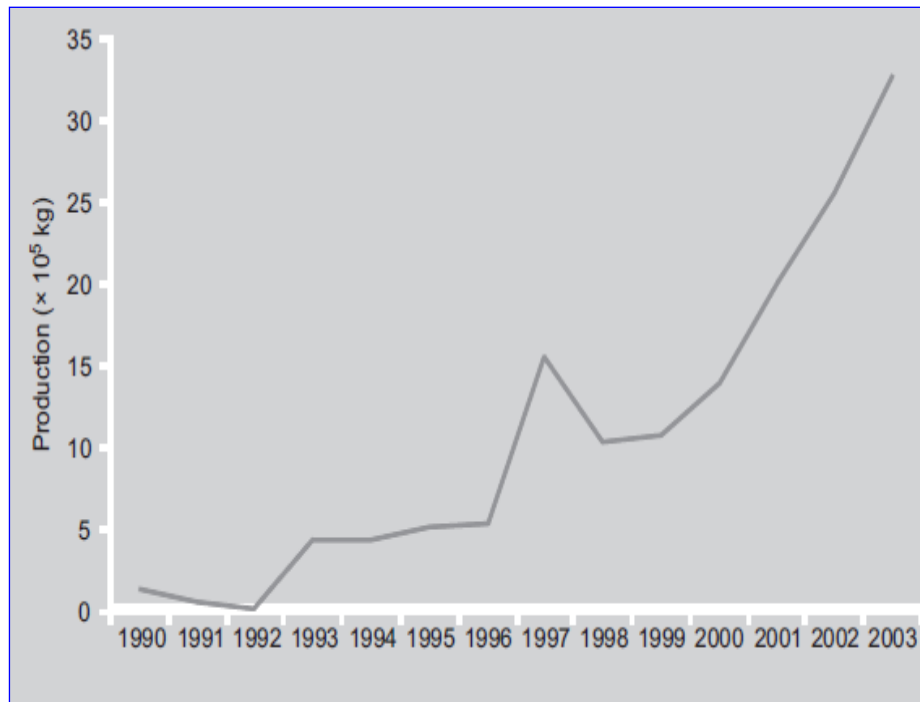


**Figure 9 : Gestion permettant une récolte plus facile pour l'exploitation de culture d'une banque nutritionnelle de baobab (ICRAF).**

#### **I.1.4.2 Production**

Compte tenu des nombreuses utilisations traditionnelles du fruit et de la vaste répartition du baobab sur le continent africain, la production de pain de singe est probablement conséquente. Si aucune estimation globale de la production africaine n'a pas encore été proposée dans la littérature, quelques données régionales sont néanmoins disponibles. Ainsi, selon l'ISRA en 2005, la production sénégalaise de pain de singe a été évaluée à plus de 3200 t/an (Diop *et al.*, 2005). D'après cette source officielle, la production semble avoir considérablement augmentée au cours des années 2000 (figure 10). Cette augmentation, notamment constatée à partir de 1996, serait liée au développement des infrastructures routières facilitant l'accès aux zones les plus reculées en vue d'une assistance à la régénération naturelle (Fall., 2001). Il est néanmoins important de noter que ces chiffres sous-estiment la production annuelle réelle de fruits, particulièrement celles d'avant 1999. En effet, ils ne prennent en compte que les fruits issus de l'exploitation contrôlée des produits forestiers, qui donne lieu au paiement d'une redevance à l'État. De plus, ils ne considèrent pas les fruits autoconsommés qui

représentent vraisemblablement une large part de la production. Par ailleurs, il est difficile de ne comptabiliser que les fruits provenant du Sénégal compte tenu des échanges intenses de produits forestiers avec les deux Guinées frontalières et le Mali (Diop *et al.*, 2005).



**Figure 10 : Évolution de la production de pain de singe /an, fruit d'*Adansonia digitata*, au Sénégal entre 1990 et 2003.**

#### **I.1.4.3 Maladies et ravageurs**

Le baobab est une plante très rustique, peu sensible aux maladies et ravageurs. Cependant, quelques rares maladies fongiques ou virales et quelques insectes s'attaquant au bois, aux fruits ou aux jeunes pousses ont parfois été mentionnés (Sidibe & Williams ., 2002; Wickens., 1982). Cet arbre est suspecté de servir d'hôte intermédiaire à certaines infections du coton et du cacao. Il est donc souvent éliminé à proximité des zones de productions cotonnières et cacaoyères.

## **Chapitre II**

### **II.1 Utilisations et propriétés nutritionnelles**

La notion d'« aliment fonctionnel » est très récente. Elle est le fruit de l'évolution des sociétés modernes vers une alimentation ne devant plus seulement répondre à des exigences purement nutritionnelles ou organoleptiques, mais devant également posséder un potentiel bénéfique pour la santé. Un aliment est dit « fonctionnel » s'il possède, au-delà de ses atouts nutritifs, des effets positifs sur une ou plusieurs fonctions cibles du corps, améliorant l'état de bien-être ou l'état de santé des individus, ou réduisant le risque d'une maladie (Roberfroid, 2000). En se basant sur cette définition et de par sa composition spécifique en divers nutriments, le baobab appartient aujourd'hui à cette classe d'aliments. Il est en effet reconnu depuis longtemps que le baobab présente un profil très intéressant de composés biochimiques bénéfiques pour la santé humaine. Une alimentation à base du baobab est pauvre en acides gras saturés et en cholestérol, et apporte peu de calories par rapport à une alimentation à base de viande ou de produits laitiers. La pulpe et la feuille du baobab sont riches en composés nutritifs (glucides, protéines, polyphénols, caroténoïdes, acides et vitamines), et les éléments minéraux dont le calcium, le fer, le zinc, le potassium, et le phosphore (Boukari *et al.*, 2001).

#### **II.1.1 Parties comestibles**

##### **II.1.1.1 Les feuilles**

Les feuilles de baobab peuvent être consommées crues ou bouillies comme légumes, quand elles sont très jeunes. Elles peuvent également être séchées, puis réduites en poudre avant leur commercialisation (Becker, 1983).

La poudre obtenue à partir des feuilles séchées est appelée «Namougounifi au Mali» et «lalo» au Sénégal. Elle est incorporée aux céréales ou dans les sauces pour la préparation du couscous de mil. Les feuilles fraîches sont utilisées dans la sauce du gâteau africain «tô». Les jeunes plantules se mangent aussi cuites comme des asperges soit au naturel, soit légèrement ébouillantées. Dans la pharmacopée traditionnelle, les feuilles sont employées en compresses ou en tisanes. (Assogbadjo *et al.*, 2006; Delisle *et al.*, 1997; Diop *et al.*, 2005; Sena *et al.*, 1998; Sidibe & Williams, 2002; Yazzie, VanderJagt, Pastuszyn, *et al.*, 1994). Les feuilles entrent également dans l'alimentation du bétail durant l'hivernage. Cette pratique menée de manière déraisonnée sur une forêt

de baobab peut toutefois engendrer un problème environnemental considérable. Il est également intéressant de noter que les feuilles ne sont prélevées sur n'importe quel baobab.

Les feuilles (figure 11) sont très riches en calcium et fer et constituent une source appréciable de potassium et de magnésium (Boukari *et al.*, 2001; Yazzie D. *et al.*, 1994). En effet, 33 grammes de feuilles sèches peuvent couvrir les besoins journaliers en calcium d'un individu. Pour 100 g de feuilles fraîches (correspondant à 23 g de matière sèche), un total de 400 à 2600 mg de calcium a été observé (Yazzie D. *et al.*, 1994). De même, les feuilles contiennent plus de 150 mg/kg de fer (Boukari *et al.*, 2001; Yazzie D. *et al.*, 1994).

Les feuilles sont aussi très riches en protéines et lipides, et constituent un complément alimentaire très utile.

Ramenées au poids de matières sèches, les feuilles contiennent jusqu'à 15 % de protéines, 70 % de glucides, 16 % de fibres et 10 % de lipides. Même si la lysine est, ici encore, l'acide aminé limitant, les feuilles peuvent être considérées comme un complément alimentaire intéressant pour améliorer la ration protéique de certaines populations locales. Leur teneur en vitamines est remarquable. Les vitamines C, B1, B2, B3 et pro-A s'y trouvent en quantités élevées. Les jeunes feuilles sont plus riches en  $\beta$ -carotène (Sidibe & Williams, 2002). Notons que le séchage solaire des feuilles dégrade la qualité vitaminique initiale en réduisant considérablement les teneurs en  $\beta$ -carotène et vitamine (Kerharo & Adam, 1974; Scheuring *et al.*, 1999b). Les feuilles contiennent 9 à 12 % de mucilages. Bien que leur caractérisation soit incomplète, ces polysides complexes, composés d'acides uroniques associés principalement à du rhamnose et du galactose, sont solubles dans l'eau et conduisent à des solutions très visqueuses (Kerharo & Adam, 1974). Cette caractéristique explique que les feuilles sont très fréquemment utilisées comme épaississant ou liant alimentaire. Les mucilages favorisent le transit intestinal, mais semblent diminuer la digestibilité de la ration (Gaywe R. *et al.*, 1989). Les feuilles renferment également de nombreux composés phénoliques, notamment flavanols et tanins, et de l'acide oxalique, puissant complexant du calcium (Kerharo & Adam, 1974; Scheuring *et al.*, 1999b).



**Figure 11 : Feuilles digitées de baobab.**

Les fleurs de baobab sont parfois intégrées à la préparation de certaines spécialités locales. Le nectar est également sucé par les enfants et par les populations rurales comme dessert ou collation.

#### **II.1.1.2 Le fruit**

Le fruit du baobab (*Adansonia digitata* L.) est composé de pulpe et de graines. Il est traditionnellement consommé dans de nombreux pays d'Afrique. La pulpe du fruit est utilisée pour l'élaboration de boissons de type nectar. La caractérisation biochimique de la pulpe révèle une faible teneur en eau (10 %), une forte acidité titrable (70 meq/100g) et une teneur élevée en acide ascorbique (un maximum de 312 mg/100g). L'analyse de 4 échantillons provenant de zones géographiques différentes montre que la composition varie peu, sauf pour l'acidité et la teneur en acide ascorbique, mais par contre elle subit une certaine variation au cours du temps (Cisse *et al.*, 2008). L'étude de la transformation de la pulpe en nectar et de sa stabilisation par une pasteurisation thermique classique, a mis en évidence une amélioration de la durée de conservation du produit qui reste encore très insuffisante (Cisse *et al.*, 2008). La saveur et la couleur du nectar sont affectées par ce traitement ainsi que par les techniques comme la stabilisation à froid par microfiltration tangentielle (Cisse *et al.*, 2008).

#### **II.1.1.3 La pulpe**

La pulpe contenue dans la capsule est obtenue après pilage et tamisage du contenu de la capsule (figure 12). L'extraction de la pulpe et des graines à partir des fruits de baobab est réalisée deux voies : la voie sèche et la voie humide.

-**Par voie sèche**, les capsules réceptionnées sont concassées pour la libération des graines enrobées de pulpe. L'extrait (graines + pulpe) est ensuite séché au soleil pendant une matinée, puis pilées dans un mortier avec un pilon. Le produit pilé est tamisé séparant ainsi la pulpe des graines.



**Figure 12 : Morphologie du fruit entier (A) d'*A digitata* et la pulpe de baobab (B).**

**La voie humide**, elle se fait par trempage, malaxage dans l'eau pendant une 1/2 heure, puis tamisage pour obtenir un produit de consistance pâteuse à liquide.

La pulpe entre ainsi dans la composition de nombreuses préparations céréalieres, telles que des bouillies ou des couscous (exemple, le « mutchoyan » au Bénin ou le « ngalakh » au Sénégal), des sauces ou des crèmes d'accompagnement (exemple, crème sucrée à base d'arachides grillées et pilées au Sénégal. La pulpe est parfois utilisée pour faire coaguler le lait, pour activer la fermentation alcoolique lors de la préparation de boissons à base de nectar de cannes à sucre ou de céréales, ou pour épaissir des préparations sucrées cuites à base de fruits locaux (mangue, orange, ditax, etc.) (Ambe, 2001; Cisse *et al.*, 2008; Codja *et al.*, 2001; Delisle *et al.*, 1997; Kenne, 1994; Leger, 1977; Maundu *et al.*, 1999; Sena, L. *et al.*, 1998; Yazzie, VanderJagt, Pastuszyn, *et al.*, 1994). Enfin, additionnée de lait à raison de 200-400 g·L<sup>-1</sup>, la pulpe du fruit du baobab peut être utilisée pour obtenir des boissons sucrées riches en vitamine (François, 1993). Par ailleurs, la pulpe du fruit de baobab est de plus en plus valorisée comme « glace » et commercialisée sur les places publiques en Afrique.

Sur les marchés de Dakar, le prix du pain de singe débarrassé de sa coque (pulpe + graines + fibres) varie de 300 à 400 FCFA·kg<sup>-1</sup> selon la période de l'année. (Haddad C., 2000; Kenne, 1994; Sidibé *et al.*, 1998; Wickens, G., 1982; Yazzie, Vanderjagt,



Okolo, *et al.*, 1994). La pulpe représente entre 14 et 28 % de la masse totale du fruit (Soloviv *et al.*, 2004). Elle se caractérise par une faible teneur en eau, le plus souvent voisine de 15 %. Comme pour la plupart des fruits, les glucides représentent plus de 70 % de la matière sèche et se composent pour moitié de sucres solubles.

Parmi les sucres solubles, le glucose est le moins représenté, mais la teneur en sucres réducteurs (glucose + fructose) est supérieure à la teneur en saccharose. La pulpe semble contenir beaucoup d'amidon et de composés pectiques, pour la plupart solubles dans l'eau et faiblement méthoxylés (Maundu *et al.*, 1999; Nour, Magboul, *et al.*, 1980a).

Néanmoins, la nature et les teneurs en polyosides présents dans la pulpe n'ont fait l'objet que de peu d'études et mériteraient d'être vérifiées. La pulpe est relativement riche en fibres ( $7 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ), mais les valeurs varient beaucoup suivant les auteurs (De Caluwé *et al.*, 2009; Favier *et al.*, 1993; Gustad *et al.*, 2004; Scheuring *et al.*, 1999a, 1999b; Soloviev *et al.*, 2004; Soloviv *et al.*, 2004).

La teneur en lipides est généralement inférieure ou égale à  $2 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  (Lockett *et al.*, 2000; Nour, Magboul, *et al.*, 1980a) La teneur en protéines est voisine de  $1,5 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  et tous les acides aminés essentiels sont présents (Chadare *et al.*, 2009). Il est probable que les teneurs les plus élevées relevées pour les fibres et les lipides soient liées à une mauvaise séparation de la pulpe et des graines lors de l'échantillonnage.

La pulpe est riche en composés minéraux. Comme dans la plupart des fruits, le potassium prédomine et le sodium est peu présent. Enfin, la pulpe contient du cuivre, du fer, du manganèse et du zinc.

La qualité vitaminique du produit est intéressante. Sa teneur en acide ascorbique, le plus souvent comprise entre 200 et  $400 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ , positionne le pain de singe parmi les fruits riches en vitamine C (De Caluwé *et al.*, 2010; Favier *et al.*, 1993; Haddad ., 2000; Murray *et al.*, 2001; Scheuring *et al.*, 1999b; Soloviev *et al.*, 2004). Cette teneur semble très variable en fonction de l'arbre et de la maturité du fruit (Haddad C., 2000; Murray *et al.*, 2001; Murray *et al.*, 2001; Scheuring *et al.*, 1999b; Sidibe & Williams. 2002; Soloviev *et al.*, 2004; Soloviev *et al.*, 2004). Les vitamines B1, B2, B6 et A y sont également présentes en quantités notables. Après extraction à sec de la pulpe du fruit, la teneur en vitamines, notamment en acide ascorbique chute significativement après



quelques semaines de stockage à température ambiante, même en emballages clos (Ibiyemi *et al.*, 1988; Wickens, 1982).

Dans 100 g de pulpe du fruit du baobab, (Wehmeyer, 1996) ont observé 75,6 % de glucides, 2,3 % de protéines et très peu de lipides (0,27%). Le fruit du baobab est connu pour sa haute teneur en acide ascorbique (Vitamine C). Une masse de 100 g de pulpe peut en effet contenir jusqu'à 300 mg de vitamine C, une quantité 6 fois supérieure à celle présente dans une orange (Cisse *et al.*, 2008). L'acide ascorbique joue un rôle extrêmement important du point de vue nutritionnel et thérapeutique. Déjà connue pour sa capacité de prévenir le scorbut, la vitamine C est de plus en plus utilisée pour ses propriétés anti-oxydantes et pour sa capacité de protection contre les dégâts provoqués par les radicaux libres (Honarbakhsh & Schachter, 2009). Le fruit contient aussi des quantités importantes d'autres vitamines essentielles, à savoir la thiamine (vitamine B1), la riboflavine (vitamine B2), indispensables pour un développement optimal de l'organisme et pour entretenir l'intégrité cellulaire des nerfs, de la peau et des épithéliums oculaires, et la niacine (vitamine PP ou B3) importante pour régler beaucoup de fonctions métaboliques (Benefice & Chevassus-Agnes, 1981; Mondot-Bernard, 1980; Mullin, 2003).

Le fruit du baobab est aussi riche en certains minéraux et acides gras essentiels. En effet, 100 g de pulpe contiennent 293 mg de calcium, 231 mg de potassium, 118 mg de phosphore et acide alpha linoléique (27 mg d'acide pour chaque g de produit sec) (Busson, 1965; Munier, 1973; Oliveira & Carvalho, 1975; Orana, 1978; Rivière, 1977; Tindall, 1965; Toury *et al.*, 1965).

Le goût acidulé de la pulpe est dû aux acides organiques tels que l'acide citrique, acide tartrique, acide malique et succinique. Grâce aux caractéristiques nutritionnelles susdites la pulpe du fruit immergée dans l'eau permet de préparer une boisson rafraichissante et nourrissante.

La pulpe du fruit du baobab contient des fibres solubles 22,54% et non solubles 22,04% dont la quantité peut atteindre 45 g par 100 g de produit (Arnal-Peyrot & Adrian, 1974). La fibre alimentaire est désormais connue comme une composante essentielle du régime alimentaire, puisqu'elle peut influencer la physiologie digestive. La quantité idéale de consommation de fibre alimentaire n'a pas encore été définie, tout en étant désormais accepté que les fibres doivent faire partie de la composition d'un régime sain et

équilibré. Une alimentation riche en fibres a déjà été mise en relation avec la diminution du risque de certaines dysfonctions telles que la constipation et l'excès de poids (Arnal-Peyrot & Adrian 1974). Les fibres non solubles ne sont pas assimilées par les intestins et elles augmentent le transit intestinal puisqu'elles augmentent la quantité de selles. Elles sont essentiellement utilisées pour combattre la constipation et donner un sens de rassasiement. La quantité élevée de fibres dans la pulpe du fruit du baobab semble aussi montrer des capacités intéressantes à stimuler la croissance de cultures de bactéries de la microflore intestinale. Les études effectuées sur les fibres solubles de la pulpe du fruit du baobab nous permettent de faire des hypothèses sur leur emploi comme probiotique, c'est à dire ingrédient alimentaire non assimilable qui peut stimuler la croissance et/ou l'activité métabolique d'un nombre limité de groupe microbiens.

L'activité probiotique fonctionnelle des bactéries provoque une amélioration de l'équilibre de la microflore intestinale une amélioration dans la digestion du lactose, une prévention des dysenteries activité immunostimulante.

#### **II.1.1.4 Les graines**

Après récupération des graines, une fois décortiquées, elles peuvent être consommées après trempage dans de l'eau froide ou chaude, éventuellement acidifiée ou alcalinisée. Elles sont ensuite cuites à l'eau bouillante suivie d'une fermentation par la flore endogène, à 25–30°C dans des feuilles de bananier par exemple. Le produit obtenu est séché au soleil, environ 24 h et est ensuite grillé et torréfié pour en faire un succédané de café. Le broyage au pilon de la graine permet d'en extraire une huile alimentaire. Pilées, les graines servent d'épaississant dans de nombreuses sauces, soupes ou sont utilisées en association avec d'autres ingrédients (arachides par exemple) pour la préparation de crèmes sucrées. Cependant l'utilisation des graines reste marginale. Les graines (**figure 13**) à raison de plus d'une centaine par fruit, représentent environ 60 % du poids du fruit débarrassé de sa coque. Leur teneur en protéines est élevée, avoisinant celle du néré (4,9 g/100g) selon le Centre Informatique sur la Qualité des Aliments (2001). Ces protéines renferment tous les acides aminés essentiels, mais la lysine y est limitante comme chez l'arachide (Haddad, 2000). La teneur en acides aminés soufrés est comprise entre 57 et 86 % par rapport au standard OMS (Sidibe & Williams, 2002). Les graines contiennent environ 15 % de lipides renfermant principalement les acides palmitique, oléique et linoléique. On y trouve également des

acides gras cyclopropéniques (acides malvalique, sterculique et dihydrosterculique), composés potentiellement cancérigènes. Elles sont riches en calcium, phosphore et magnésium. Addy *et al.*, (1995); Obizoba & Amaechi, (1993b) ont montré que les graines contiennent des tanins, un inhibiteur trypsique, un inhibiteur amylasique et un alcaloïde spécifique, l'adansonine. Le décorticage et les divers modes de préparation traditionnels permettent de ramener les teneurs en ces éléments à des niveaux acceptables pour la consommation.

L'huile du baobab tient une grande place dans la pharmacopée traditionnelle et culinaire africaine. Elle posséderait un grand pouvoir émollient et des capacités adoucissantes sur la peau et le cuir chevelu, elle a un effet protecteur de la fibre capillaire. Utilisée comme crème de massage, l'huile de baobab assouplit la peau et permet de soulager les douleurs, les blessures, de traiter certaines affections dermiques notamment le psoriasis et l'eczéma. Les femmes enceintes peuvent appliquer cette huile sur le ventre et les seins, afin de permettre à la peau de garder son élasticité.



**Figure 13 : Graines de baobab.**  
(Source: Emmy De Caluwé, Benin, 2004).

Une compilation des nombreuses données concernant la composition de la pulpe, des graines et des feuilles est proposée dans le **tableau 3**. Cette composition est soumise à de très grandes variations qui sont liées à la qualité de la matière première (habitat, maturité, conditions de conservation des échantillons) et aux diverses méthodes d'analyses utilisées.

**Tableau 3 : Composition de la pulpe du fruit, des graines et des feuilles d'*Adansonia digitata* L. exprimée par kg.**

Caractéristique	Unités	Pulpe base humide	Graines base humide	Feuilles base sèche
Energie	MJ	8,1-13,9	15,0-21,4	11,8-19,0
Acidité titrable	meq	400-630		
Matière sèche	g	662-953	919-964	
Glucides totaux		444-804	48-568	138-700
Sucres solubles totaux		51-346	64	34
Saccharose		81-102	3	
Glucose		67-85	19	
Fructose		142-179	43	
Amidon		481	625	
Composés pectiques		450		
Cellulose		11		114-183
Fibres		11-430	68-169	110-160
Lipides		1-41	84-313	23-100
Protéines		14-15	144-378	103-150
Cendres		18-53	22-151	85-160
Al	mg			228-2870
Ca		1560-6550	2270-3674	3070-40200
Cu		98		1-12
Ba				182-454
Fe		14-76	14	150-490
K		7260		3210-16400
Mg		2090-2300	3274	3120-5490
Mn		8-21	10	31-89
Na		7-46	16-18	1630
P		600-3840	5710-15250	297-6700
Zn		9-21	9-24	19
Acide ascorbique	g	0,2-5,0		3,8-5,3
Thiamine (B1)	mg	0,1-10,0	13	1,3-1,5
Riboflavine (B2)		0,6-0,9	1,3	9,3
Niacine (B3)		5-22	14	5
Pyridoxine (B6)		0,02-0,2		
Pro-vitamine A (éq. rétinol)		0,03-3,0		10-85

(Haddad C., 2000; Murray *et al.*, 2001; Sidibe & Williams, 2002; Soloviev *et al.*, 2004; Wickens, 1982).

### **II.1.2.      Activité anti-oxydante**

Des études récentes (Chadare *et al.*, 2009; Cisse *et al.*, 2008; Vertuani *et al.*, 2002) ont mis en évidence l'importante activité anti-oxydante (hydrosoluble et liposoluble) de certaines parties de la plante complète (pulpes, feuilles, fibres).

### **II.1.3        Autres usages**

C'est un fruit ligneux de forme et de longueur variables. Le péricarpe de la capsule est essentiellement utilisé dans la fabrication de la « potasse ». La technologie consiste à écraser les capsules et à les bouillir dans de l'eau pour avoir une solution. Cette solution obtenue appelé « potasse » est utilisée pour traiter l'indigestion et la nausée. Elle sert également à produire du savon. Le processus amène dans ce cas, à ajouter au fur et à mesure de la cuisson de l'huile de palmiste ou de l'huile rouge de palme, qui conduit à une saponification et par la suite à l'obtention d'un savon qui est commercialisé localement sur les marchés.

Enfin, certaines parties de la plante sont traditionnellement valorisées pour la fabrication de cordages ou vanneries avec les fibres de l'écorce interne ou les racines, de récipients avec les coques des fruits, de colle avec le pollen des fleurs, de teintures avec les racines (Sidibe & Williams, 2002; Wickens, 1982).

De plus, le baobab fait également partie intégrante des pharmacopées africaines. Les utilisations médicinales de la plante sont nombreuses et variées (**tableau 4**).

.

**Tableau 4 : Principales utilisations médicinales traditionnelles du baobab.**

(Codjia, Fonton-Kiki, *et al.*, 2001; Kenne, 1994; Sidibe & Williams, 2002; Wickens, 1982)

Partie utilisée	Propriétés les plus fréquemment citées	Utilisations
<b>Pulpe du fruit</b>	Tonifiant/stimulant, antidiarrhéique, antientéralgique, antipyrétique, hémostatique/cicatrisant	Fatigue, inappétence, aphrodisiaque, diarrhées, entéralgies (surtout chez l'enfant), paludisme, infections rhinopharyngées, troubles circulatoires (hémorroïdes), hémoptysie, piqûres d'insectes
<b>Graine</b>	Anti-diarrhéique, antientéralgique	Diarrhées, entéralgies, hypertension, toux, paludisme, stimulation de la lactation, hoquet, gingivites et infections buccales
<b>Feuilles</b>	Antipyrétique, antihistaminique, antitussif, diurétique, antidiarrhéique, tonifiant, antalgique, expectorant, désinfectant et anti-inflammatoire local	Fièvres, asthme, toux, anémie, hypertension, troubles circulatoires (hémorroïdes), entéralgies, aphrodisiaque, douleurs dentaires du nourrisson, activateur de transpiration, rhumatismes, conjonctivites, otites, infections urinaires, piqûres d'insectes, dracunculose, inflammations cutanées
<b>Ecorce</b>	Antipyrétique	Fièvres, paludismes, diarrhées, inflammations du tube digestif, tonifiant pour les jeunes enfants, lombalgies, ménorragies, maux de dents, brûlures, traitement des plaies superficielles, adoucissant pour la peau
<b>Racine</b>	Tonifiant/stimulant	Fortifiant, paludisme, épilepsie et agalactie (souvent en association avec d'autres végétaux)
<b>Fleurs</b>		Facilite l'accouchement, toux, anémie

## ***Chapitre III***

### ***III.1 Vertus thérapeutiques traditionnels d'Adansonia digitata***

Partout en Afrique, les différentes parties du baobab telles que les racines, le tronc, l'écorce, les feuilles la pulpe et graines sont exploitées à des fins thérapeutiques. Dans la pharmacopée traditionnelle africaine le baobab entre dans la préparation de nombreux remèdes, en particulièrement pour les problèmes digestifs, mais aussi inflammatoires (Codjia, Fonton, *et al.*, 2001; Kenne, 1994; Sidibe & Williams, 2002; Wickens, 1982). Ses feuilles auraient des vertus médicinales prouvées, on y trouve de la gomme et du mucilage, très efficaces pour lutter contre la dysenterie (Kerharo & Adam, 1974). Elles seraient diurétiques, diaphorétiques, toniques et généralement utilisées contre la fièvre, la diarrhée, la dysenterie, les coliques, les infections urinaires (Kerharo & Adam, 1974). Leur efficacité dans le traitement de l'asthme est aussi prouvée. Les écorces traiteraient (Kerharo & Adam, 1974) le paludisme, l'inflammation du tube digestif, la carie dentaire, le rachitisme (Ramadan *et al.*, 1994). Les racines seraient indiquées dans le traitement du paludisme. La pulpe du fruit traiterait la diarrhée, la dysenterie, l'inflammation de l'intestin et du foie (Tal Dia *et al.*, 1997). Les fibres rouges emménagogues sont utilisées pour traiter l'aménorrhée chez la femme. Les graines galactagogues sont considérées comme remèdes dans le traitement de la carie dentaire, la gingivite, le paludisme, la rougeole et la gastrite (Tal Dia *et al.*, 1997). La sève serait indiquée pour stopper la carie dentaire.

#### **III.1.1 Racines**

En Sierra Léonne, la racine est utilisée comme stimulant de l'activité sexuelle (Codja *et al.*, 2001; Sidibe & Williams, 2002). La poudre de la racine sèche préparée comme crème est utilisée comme tonique sur les malades atteints de paludisme. En Zambie, l'infusion de racines est utilisée dans le bain pour les enfants afin que la peau soit lisse et souple. L'écorce est utilisée contre la fièvre à la place de l'écorce de quinquina ; elle serait particulièrement appropriée dans les traitements contre le paludisme. L'écorce, riche de mucilages, est aussi utilisée contre les inflammations de l'appareil digestif. Une fois coupée, elle produit une colle fluide blanche sans odeur ni saveur, acide et non soluble utilisée pour nettoyer les plaies et les ulcères.

### **III.1.2 Graines et Huile de Baobab**

Les graines sont extraites en une huile riche en acides gras essentiels (acide oléique, linoléique et linolénique en particulier) utilisée dans l'alimentation humaine et en cosmétique. Cette huile soulage la douleur provoquée par les brûlures et régénère rapidement les tissus épithéliaux, en rendant ainsi la peau élastique (Codja *et al.*, 2001; Sidibe & Williams, 2002).

### **III.1.3 Feuilles**

Les feuilles macérées et comprimées sont utilisées pour nettoyer les oreilles et les yeux des enfants malades et aurait un effet anti-inflammatoire. (Assogbadjo *et al.*, 2005; Delisle *et al.*, 1997; Sena *et al.*, 1998; Sidibe & Williams, 2002; Yazzie, Vanderjagt, Okolo, *et al.*, 1994). Dans la médecine traditionnelle, les feuilles sont utilisées pour leurs propriétés expectorantes, fébrifuges, hypotensives, antiasthmiques et dans le contrôle d'une transpiration excessive. Les feuilles sont aussi utilisées dans les maladies des voies urinaires, diarrhées, inflammations et piqures d'insectes. Elles seraient en outre un remède efficace pour l'expulsion du ver de Guinée. Elles peuvent être aussi employées pour usage extérieur pour ses propriétés antioxydantes et émollientes. (Assogbadjo *et al.*, 2005; Delisle *et al.*, 1997; Sena *et al.*, 1998; Sidibe & Williams, 2002; Yazzie *et al.*, 1994).

### **III.1.4 Pulpe de fruit**

Dans la médecine traditionnelle, la pulpe est employée comme fébrifuge, analgésique, anti-diarrhéique, anti-dysenterie et dans le traitement de la variole et de la rougeole (Adam, 1974; Kerharo & Adam, 1974). Grace à ses propriétés lubrifiantes et diluantes accompagnées par la présence de pectines et glucides, la pulpe du baobab a été récemment employée comme base hydrophile de formulations pharmaceutiques de comprimés de paracétamol et théophylline avec action prolongée (Galil, 1996). La pulpe est considérée dans le traitement radical de la diarrhée infantile (Galil, 1996).

## **III.2 Propriétés anti-inflammatoires et antipyrétiques**

Différents essais ont été effectués pour analyser l'activité biologique de l'extrait aqueux lyophilisé de la pulpe du fruit du baobab. Ces études ont mis en évidence une forte activité anti-inflammatoire avec des dosages de 400 -800 mg /kg de pulpe. Ces dosages



peuvent réduire l'inflammation de l'articulation. Cet effet est comparable à celui produit par une dose de 15mg/kg de phénylbutazone (Ramadan *et al.*, 1994).

Les effets cités ci-dessus sont associés à la présence de stérols dans l'extrait aqueux (Ramadan *et al.*, 1994).

Des essais réalisés sur des rats auxquels 800mg/kg d'extrait ont été administrés ont révélé le développement d'activité analgésique et antipyrétique comparable à l'utilisation de 540 mg/kg d'acide acétylsalicylique (Codja *et al.*, 2001) par voie orale (Ramadan *et al.*, 1994).

Ces résultats justifient le large emploi de cette plante dans la médecine traditionnelle comme anti-pyrétique ou contre la fièvre.

### **III.3 Propriétés anti-diarrhéiques**

L'alimentation caractéristique des populations autochtones africaines (en particulier chez les enfants), est surtout basée sur un régime végétal et farineux, pauvre en lait, hypocalorique et hypoprotéique, qui peut facilement provoquer le rachitisme et des dysfonctions organiques tels que la diarrhée ou la dysenterie. La pulpe du fruit du baobab serait efficace contre la diarrhée (Delisle *et al.*, 1997; Sena *et al.*, 1998; Sidibe & Williams, 2002; Yazzie *et al.*, 1994). En effet si elle est utilisée convenablement, elle peut combattre efficacement cette maladie qui est très fréquente dans les pays africains. Une analyse effectuée sur 160 enfants âgés de 8 mois a démontré qu'une dispersion aqueuse de la pulpe du fruit du baobab a des avantages importants par rapport à la traditionnelle oms solution (OMS), utilisée pour la réhydratation des enfants affectés par la diarrhée.

Les composants essentiels pour cette activité semblent être les tanins, cellulose, acide citrique et d'autres typiques de la pulpe du fruit (Lesschaeve & Noble, 2005).

Une autre façon pour l'emploi de la pulpe du fruit dans le traitement de la diarrhée et de la dysenterie est la préparation de tisanes ou de suspensions dans le lait, toujours administré par voie orale.

### **III.4 Activités antiparasitaires**

Dans l'état du Bauchi, au Nigéria, le *dracunculus medinensis*, mieux connu comme ver de Guinée est hyperendémique. Une étude effectuée dans le domaine de la médecine humaine (Becker, 1983) a démontré que les malades traités avec *Adansonia Digitata* appliquée par usage topique étaient soulagés par rapport à la douleur et à l'expulsion des vers de Guinée et la cicatrisation de la plaie serait plus rapide (Vimalanathan *et al.*, 2005).

### **III.5 Activités antivirales et antimicrobiennes**

Une étude effectuée sur l'activité antimycosique de certains extraits de plantes médicinales a mis en évidence que l'extrait de *Adansonia digitata* présente une activité antimycosique contre *Microsporum canis*, *Epidemophyton floccosum* et *Tricophyton rubrum* (Anani et al., 2000). Cet extrait est aussi une source riche de substances antivirales (Herpes Simple 1 et 2, Vescicular stomatitis et Poliovirus) (Karumi *et al.*, 2008; Vimalanathan *et al.*, 2005) et antimicrobiennes (*Streptococcus pyogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Bacillus cereus* et *Candida albicans*).

## ***Chapitre IV***

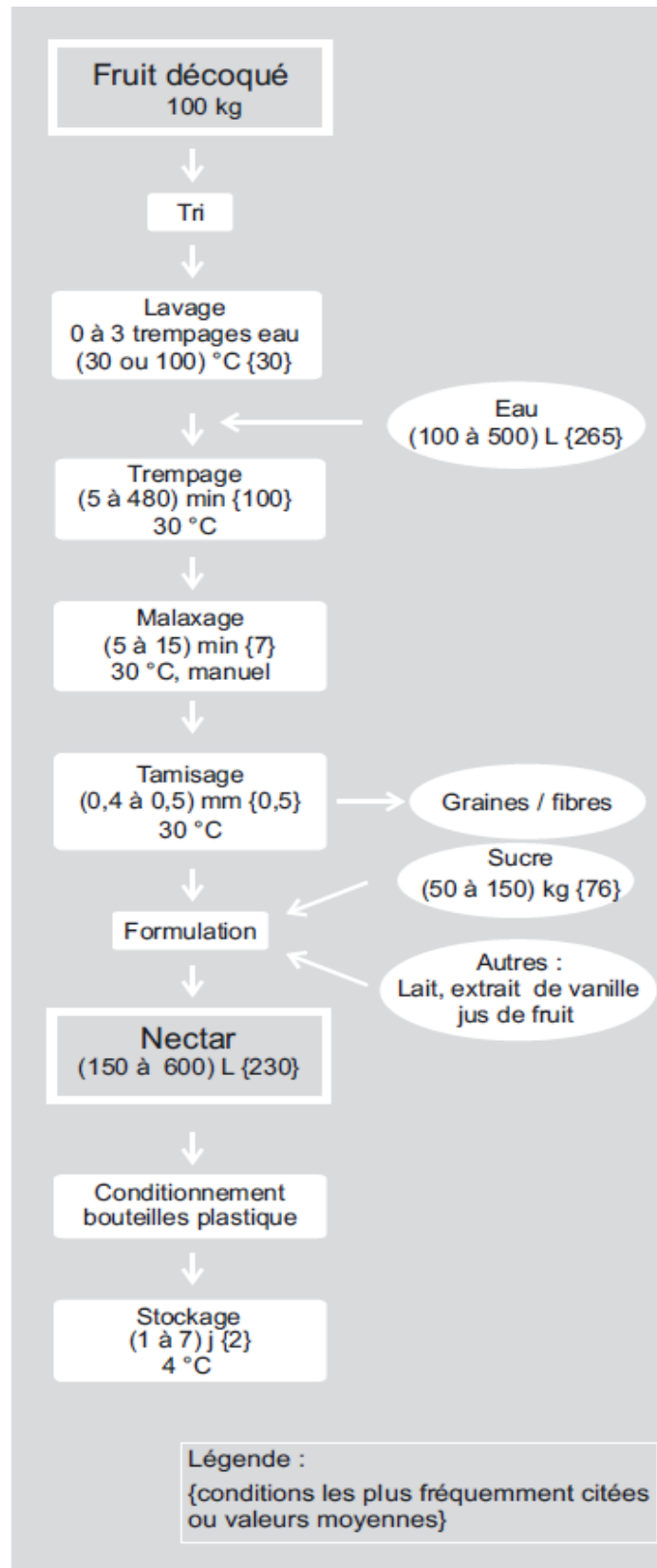
### ***IV.1 Technologie de transformation et de conservation de la pulpe de Baobab***

#### **IV.1.1 Transformation**

Le fruit du baobab reste sous-exploité malgré des caractéristiques nutritionnelles intéressantes. Il s'agit en effet d'un fruit réputé comme riche en fibres alimentaires, en minéraux et en vitamine (Favier *et al.*, 1993; Soloviev *et al.*, 2004).

En Afrique, le fruit est consommé sous différentes formes où il est exclusivement valorisé de manière traditionnelle sous forme de boissons aqueuses ou lactées, généralement destinées au marché de proximité.

Ces produits, qui, pour la plupart d'entre eux, ne se conservent que quelques jours, sont très recherchés par la population locale pour leurs caractéristiques organoleptiques. La transformation du fruit ou encore l'impact des traitements de transformation sur la qualité des produits finis ne sont pas connus. L'évaluation du potentiel technologique de ces fruits, est un préalable au développement de leurs produits de transformation sur les marchés locaux, régionaux et internationaux (Cisse *et al.*, 2008) (figure 14).



**Figure 14 : diagramme décrivant les procédés traditionnels d'élaboration du nectar de fruit de baobab.**  
(Cisse *et al.*, 2008).

## IV.1.2 Conservation

### IV.1.2.1 Procédés de stabilisation

Afin de conserver les produits transformés, il convient en premier lieu de les stabiliser. La stabilisation correspond à l'absence de détérioration d'un produit qu'il soit brut ou transformé. Il s'agit d'éliminer ou inhiber les voies de dégradation (microbiologiques, enzymatiques, chimiques ou physiques).

Les méthodes de conservations, qui peuvent être utilisées pour stabiliser les produits transformés de la pulpe de baobab sont :

✓ **Le froid** en utilisant la réfrigération (4°C), la congélation (0 à -18°C), ou encore la surgélation (congélation rapide). Les gammes de températures couramment utilisées sont :

- ◆ en réfrigération 4°C
- ◆ en congélation jusqu'à -40 °C, avec conservation à -18 °C, -20°C. Les différentes réactions de dégradation chimique (brunissement, hydrolyse, oxydation des lipides) sont plus ou moins retardées par le froid. En effet, la vitesse de réaction augmente de façon exponentielle avec la température (loi d'Arrhénius :  $K = K_0 \exp (E_a/R.T)$ ) (van Boekel, 2009).

✓ **La chaleur** en utilisant la pasteurisation ou la stérilisation.

### IV.1.2.2 Pasteurisation

Ce traitement thermique est la méthode la plus utilisée pour la conservation des jus de fruits. Il vise à tuer les micro-organismes, et à inactiver les enzymes, qui pourraient altérer le produit ou le rendre impropre à la consommation humaine. Il a pour but la détermination de la valeur pasteurisatrice. Ce paramètre nous permet de caractériser le traitement thermique à appliquer à un produit à pasteuriser. Elle permet de fixer la température et le temps de traitement à appliquer, elle s'exprime en minute. Son intérêt est qu'elle est indépendante de l'état du produit et de son niveau de contamination. Il existe différentes manières de pasteurisation :

- **Pasteurisation après conditionnement.** Le nectar est introduit froid, ou à une température ne dépassant pas les 70°C à 75°C dans les récipients, bouteilles de verre ou boîte métallique; ceux-ci, après fermeture, sont chauffés dans un bain ou sous des douches d'eau, puis refroidis.
- **Remplissage à chaud et auto pasteurisation.** Cette méthode consiste à soumettre le nectar à une pasteurisation flash (95-97°C/12 sec), et le refroidir immédiatement jusqu'à 82-85°C, puis à l'introduire à cette température dans les récipients; ceux-ci sont aussitôt faits après les

avoir agités. Ensuite ils sont maintenus à cette température pendant 3 à 4 minutes, jusqu'au refroidissement.

#### **-Pasteurisation des jus sous vide.**

Après un traitement thermique direct, le nectar est désaéré en couche mince sous vide et envoyé dans des tanks, où il est conservé sous vide en attendant son embouteillage. Pour le tirage en flacons, le vide est cassé en évitant le barbotage d'air et le capsulage à lieu également sous vide.

Il est toutefois important de noter que la tendance actuelle est de limiter le plus possible la quantité de chaleur fournie pour éviter l'apparition du « goût de cuit ». Son avantage résulte du fait qu'il s'agit d'un traitement peu coûteux.

Une étude de stabilisation à froid par microfiltration tangentielle a été réalisée sur des nectars avec des rapports massiques [fruit / eau] de [1 / 3] et [1 / 5]. Les densités de flux ont été comprises entre [(23 et 77) L·h<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup>] pour des facteurs de réduction volumique compris entre 1 et 2. Les faibles densités de flux de perméats mesurées a compromis l'intérêt de la microfiltration tangentielle pour la stabilisation à froid du nectar (Cisse *et al.*, 2008). Les mêmes auteurs ont conclu que pour l'avenir, dans la perspective d'une production locale et industrielle de nectar de fruit du baobab, les travaux de recherche devront être focalisés sur la stabilisation thermique de la boisson.

## ***Chapitre V***

### ***V.1 Méthodes d'analyses et de diagnostic***

#### **V.1.1 La Spectrométrie Proche Infrarouge (SPIR): Un outil de diagnostic rapide et performant**

La spectrométrie est une méthode d'analyse dont le principe repose sur l'absorption de la lumière proche infrarouge (longueurs d'ondes comprises entre le visible et l'infrarouge moyen entre 400 et 2500 nm) par la matière organique. La spectrométrie proche infrarouge (SPIR) peut être utilisée pour doser quantitativement les constituants chimiques constitués d'atomes de carbone, d'oxygène, d'hydrogène, d'azote reliés entre eux par des liaisons chimiques covalentes. Elle ne dose pas directement un constituant (eau, protéines, matières grasses...), mais est reliée au nombre de liaisons chimiques spécifiques du constituant (O-H pour l'eau, N-H pour les protéines, C-H pour les matières grasses,...). Les bandes d'absorption de tous les constituants ou paramètres susceptibles d'être dosés se recouvrent en grande partie dans le proche infrarouge.

L'interaction des radiations auprès d'un échantillon peut être absorbée, transmise ou réfléchie. Ainsi, il existe différentes spectroscopies SPIR. Dans la pratique, les modes de transmission sont la transmittance, la transmission diffuse, et la réflectance diffuse, les deux derniers étant les plus fréquemment utilisés. La transmission diffuse permet d'effectuer des mesures dans la région du spectre entre 800 et 1100 nm, et est utilisée sur la viande et le fromage ou les grains entiers. Cette mesure est intéressante, car elle peut être utilisée sur des échantillons plus épais tels que les fruits et le blé.

Il n'est donc pas possible de se contenter d'une mesure d'absorption lumineuse à une seule longueur d'onde qui serait caractéristique du produit à doser, mais au contraire de procéder à une détermination sur une série de plusieurs longueurs d'ondes. La SPIR est une méthode analytique indirecte. Un modèle de prédiction (équation de prédiction ou de calibration) est appliquée au spectre, afin de déterminer la concentration d'un composé. Cette équation de prédiction est obtenue après une phase de calibration qui correspond à la mise en corrélation de l'ensemble de données spectrales d'un grand nombre d'échantillons et des valeurs de références respectives du composé que l'on cherche à calibrer. Par le biais des différentes méthodes statistiques (régression en composantes principales, régression linéaire multiple, PLS), des équations de prédiction sont générées et permettent de quantifier certaines molécules.

### **V.1.1.1 Intérêt de du SPIR**

La spectroscopie PIR a d'abord été utilisée dans des applications agricoles par (Norris, 1964) pour mesurer l'humidité dans le grain. Depuis, elle a été utilisée pour l'analyse rapide essentiellement de l'humidité, des protéines et des teneurs en matières grasses d'une grande variété de produits agricoles et alimentaires (Davis & Grant, 1987; Gunasekaran & Irudayaraj, 2001). Les premières applications en horticulture ont été axées sur la teneur en matière sèche d'oignons, la teneur en solides solubles (SSC) de pommes (Bellon *et al.*, 1993) et la teneur en eau des champignons (Roy *et al.*, 1993), mais depuis, de nombreuses autres applications ont suivi. Comme la propagation du rayonnement PIR dans les fruits et les tissus végétaux sont affectés par leurs microstructures, la spectroscopie PIR a été utilisée pour mesurer la microstructure des attributs liés, tels que la rigidité (Lammertyn *et al.*, 1998), les dommages internes (Clark *et al.*, 2003), mais également les attributs sensoriels (Mehinagic *et al.*, 2004).

### **V.1.1.2 Modèle de robustesse**

Les modèles de calibrage sont appelés robustes quand la prédiction de la précision est relativement insensible aux changements d'inconnues des facteurs externes. Les principaux facteurs qui peuvent affecter la performance du modèle selon Wong *et al.*, (1999) sont:

- 1) le modèle d'étalonnage développé sur un seul instrument est transporté vers un autre instrument qui produit des réponses instrumentales qui diffèrent des réponses obtenues sur le premier instrument
- 2) la stabilité du détecteur
- 3) l'appartenance des échantillons à des différents lots

Le dernier facteur est probablement le plus important, dans le cas de la SPIR des fruits et légumes. Comme la matrice de fruits peut être sujette à la variabilité intra-arbre (âge des arbres, charge de récolte, âge éperon, position dans l'arbre, lumière et variabilité des effets), au sein de verger (emplacement de l'arbre et effets de la lumière), variabilité du verger [caractéristiques du sol, la nutrition et conditions météorologiques], âge et la variabilité saisonnière de fruits (Peirs *et al.*, 2005).

Le grand avantage de cette technique est la facilité d'échantillonnage. C'est une mesure qui peut être non destructive (soja, blé, fruits, foie gras,...) et peut être réalisée en ligne, malgré la lourdeur de la phase d'étalonnage. L'analyse proche infrarouge est une technique qui permet des analyses multi-composantes simultanées avec une grande rapidité, une faible quantité de produit et un coût analytique faible.



### V.1.1.3 Précision du modèle

L'erreur de prédiction d'un modèle d'étalonnage est définie comme l'erreur quadratique moyenne pour la validation croisée (RMSECV) :

$$RMSECV \text{ or } RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_p} (\hat{y}_i - y_i)^2}{n_p}}$$

avec  $n_p$  le nombre d'objets validés, et  $\hat{y}_i$  et  $y_i$  le prédit et la valeur mesurée de la  $i$ ème observation dans l'ensemble de test, respectivement. Cette valeur donne l'incertitude moyenne qui peut être prévue pour les prédictions d'échantillons à venir. Les résultats de prédiction avec un intervalle de confiance à 95% peuvent être exprimés comme la valeur prédite  $y_i \pm 1,96 \times RMSEP$ . Le nombre de latente variable dans le modèle d'étalonnage est généralement déterminé par RMSECV ou RMSEP. L'erreur standard de prédiction (SEP) est aussi signalée à la place de l'RMSEP :

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_p} (\hat{y}_i - y_i - b)^2}{n_p}}$$

Avec  $b$  le biais du modèle. La SPD est défini comme le ratio de l'écart-type de la variable de réponse à l'RMSEP ou RMSECV (certains auteurs utilisent le DTS terme). Un SPR entre 1,5 et 2 signifie que le modèle peut discriminer des valeurs élevées de la variable; une valeur comprise entre 2 et 2,5 indique que des prédictions quantitatives sont possibles, et une valeur entre 2,5 et 3 ou au-dessus correspond à une bonne et excellente précision de la prédiction. Une autre statistique utile est la valeur de  $R^2$ . Il représente essentiellement la proportion de la variance expliquée de la variable de calibration (R2C Ou validation (R2V)).

### V.1.2 Développement pour la caractérisation des fruits et végétaux

La spectrométrie proche infrarouge est utilisée pour déterminer différents paramètres sur une grande variété de matrices de graines, de fruits et des végétaux à partir de la discrimination de certaines bandes d'absorption (Hourant *et al.*, 2000).

L'importance du développement d'hybrides de tournesol à haute teneur en acide oléique a impulsé, ces dernières années, de nombreuses études pour évaluer la capacité de la spectrométrie proche infrarouge à prédire la composition en acides gras. La pertinence de la forme de la matrice tournesol a été largement étudiée : akène entier non décortiqué, akène entier décortiqué, akènes broyés ou huile (Moschner C. & Biskupek-Korell , 2006; Perez-Vich *et al.*, 1998; Sato, 1994; Velasco *et al.*, 1999). Les résultats montrent que l'outil SPIR

permet de prédire avec un coefficient de détermination supérieur à 98% les teneurs en acide oléique et acide linoléique pour toutes les matrices excepté sur la graine intacte (interférence de la coque noire de la graine). La prédiction des autres acides gras tels que l'acide palmitique et l'acide stéarique est obtenue avec une précision moindre ( $R^2 = 80\%$ ), car la gamme de variabilité des teneurs est plus étroite pour ces deux acides. Une meilleure prédiction des teneurs en acide stéarique a été obtenue par la création d'hybrides mutants enrichis en acide stéarique ; le coefficient de détermination sur une graine entière augmente ( $R^2 = 88\%$ ) (Velasco *et al.*, 2002).

L'analyse des composés mineurs par spectrométrie proche infrarouge est un sujet peu exploré dans la littérature. Pour l'analyse des tocophérols, des travaux portant sur la luzerne (González *et al.*, 2005) et sur des huiles végétales (Szlyk *et al.*, 2005) montrent des coefficients de détermination élevés ( $R^2 = 99\%$ ) par rapport à ceux obtenus avec la prédiction des acides gras. L'analyse de la partie stérol dans l'huile d'olive a été déterminée par spectrométrie Raman à transformée de Fourier et montre que les bandes des composants comme celles du  $\beta$ -carotène ou de la lutéine peuvent être facilement identifiées (Baeten *et al.*, 2005).

### **V.1.3 Applications**

Dans le tableau 5, un aperçu des applications de la spectroscopie PIR est donné pour mesurer la SSC de fruits et de légumes.

D'après le tableau 5, la faisabilité de la spectroscopie PIR pour mesurer la SSC dans une grande variété de fruits est possible, et de nouveaux progrès seront faits lorsque, plusieurs vergers, des saisons et d'éventuellement fluctuants des conditions environnementales sont considérées.

**Tableau 5 : Quelques applications de SPIR pour la mesure de SSC.**  
(Nicolai *et al.*, 2007).

Espèces	Cultivar r	Spectropho tomètre	Mode Acquisition	Bandes Spectrale	RMSEP	Ref.
Pomme ( <i>Malus domestica</i> Borkh.)	Jonagold.	Scanning	Reflectance	380–1650	0.6 (SEP)	Lammertyn <i>et al.</i> (1998)
	Golden Delicious Jonagold,	PDA	Interactance	350–999	~1.1	Ventura <i>et al.</i> (1998)
	Empire, Golden and Red Delicious	Scanning	Reflectance	800–1700	0.4–0.5	Lu <i>et al.</i> (2000)
	Various	Scanning	Reflectance	380–2000	0.7	Peirs <i>et al.</i> (2000)
Abricot ( <i>Prunus armeniaca</i> L.)	Boccuccia Sinosa,Errani	Scanning	Interactance	600–2500	0.9	Carlini <i>et al.</i> (2000)
Cherry ( <i>Prunus serotina</i> L.)	Ravenna	Scanning	Interactance	600–2500	0.5	Carlini <i>et al.</i>
	Hedelfinger, Sam	Scanning	Reflectance	800–1700	0.7(SEP)	Lu (2001)
Citron ( <i>Citrus×limon</i> (L.) Burm.f.)	Jeju	PDA	Transmittance	636–1236	0.4(SEP)	Lee <i>et al.</i> (2004)
Grape ( <i>Vitis vinifera</i> L),	Cabernet Sauvignon Carmenere, Chardonnay	PDA	Transmittance/ Interactance	650–1100	1.1.	Herrera <i>et al</i> (2003
Guavave( <i>Psidium guajava</i> L.)	Pearl	Scanning	Reflectance	400–2498	0.8 (SEP)	Hsieh and Lee (2005)
Kiwifruit ( <i>Actinidia chinensis</i> Planch)		PDA	Various	300–1100	0.8–1.2 (SEP)	Schaare and Fraser (2000)
Kiwifruit ( <i>Actinidia deliciosa</i> (A. Chev.) C.F. Liang et A.R. Ferguson)	Hayward	PDA	Interactance	300–1140	0.5	McGlone <i>et al.</i> (200b)
	Hayward	Scanning	Interactance	800–1100	0.4	McGlone and Kawano (1998)
Mandarine( <i>Citrus reticulata</i> L.)	Satsuma	Scanning	Transmittance	680–1235	0.3	Kawano <i>et al.</i> (1993)
	Imperia	PDA	Interactance	~730–930	0.2–0.4	Greensill and Walsh (2002)
	Satsuma Miyagawa	PDA	Various .	700–930	0.3	McGlone <i>et al</i> (2003a,b)
Mango ( <i>Mangifera indica</i> L.)	Tommy Atkins	Scanning e	Reflectanc	1200–2400	1.2	Schmilovitch <i>et al.</i> (2000)
	Caraboa	Scanning	Reflectance	1100–2500	0.7	Saranwong <i>et al.</i> (2001
	Caraboa	Scanning, PDA	, Interactance	400–1000; 600–1000	0.6–0.4	Saranwong <i>et al.</i> (2003a, b)
Melon ( <i>Cucumis melo</i> L.)	Eldorado, Eastern	Scanning	Reflectance	700–1100	1.32 (SEP)	Guthrie <i>et al.</i> (1998)
	Star, Hammersley			0.7–		
Nectarine ( <i>Prunus persica</i> (L.) Batsch)	Summerbrite	PDA	Interactance	735–932	0.8	Golic and Walsh (2006)
Papaye ( <i>Carica papaya</i> L.)	Kapoho Solo	Scanning	Interactance	700–1100	1.1	Slaughter <i>et al.</i> (1999)
Peach ( <i>Prunus persica</i> (L.) Batsch)	Shimizu Hakuto	Scanning	Interactance	680–1235	0.5	Kawano <i>et al.</i> (1992)

	Several	Scanning	Interactance	400–1100	0.6	Slaughter (1995)
	Nectarin	PDA	Interactance	300–1100	0.3	Walsh <i>et al.</i> (2004)
Pear ( <i>Pyrus communis</i> L.)	Conference	NIR	Reflectance	780–1700	0.4	Nicolaï <i>et al.</i> (2007)
Pineapple ( <i>Ananas comosus</i> (L.) Merrill)	Smooth Cayenne	Scanning	Reflectance	400–2500	1.2 (SEP)	Guthrie and Walsh (1997)
	Smooth Cayenne.	Scanning)	Reflectance	700–1100	1.84 (SEP)	Guthrie <i>et al.</i> (1998)
Plum ( <i>Prunus</i> )	Various	PDA	Interactance)	306–1150 0.5–	0.7	Golic and Walsh (2006)
	Autumn Giant	PDA	Interactance	735–932	0.8	Golic and Walsh (2006)

Alors que les modèles de calibrage obtenus sont bons pour la matière sèche, il semble plus difficile de prédire l'acidité sur base de spectre PIR. La concentration d'acides dans la plupart des fruits et légumes est généralement nettement inférieure à celle de sucres, et probablement trop faible pour affecter le spectre PIR de manière significative. Les bandes d'absorption d'eau dominant le spectre de fruits et légumes, par conséquent il est peu probable que les constituants mineurs puissent être mesurés ainsi. Par contre, il est à prévoir que la maturité du fruit qui est liée à la fois à des changements dans la teneur en sucre et l'histologie puissent être bien prédite par spectres PIR.

#### V.1.4 Contraintes techniques de SPIR dans l'analyse des aliments

Bien que le coût de fonctionnement de la SPIR soit faible, l'instrument lui-même est cher, ce qui limite son application pratique. Les efforts déployés par les chercheurs et les organisations industrielles à développer les instruments à faible coût pourrait révolutionner l'utilisation de techniques PIR pour le contrôle de qualité en ligne sur les aliments. Certains modèles d'étalonnage basés sur la spectroscopie PIR, surtout pour l'application en ligne, ne sont pas fiables et pas suffisamment stables. Par conséquent, il est impératif pour les chercheurs de choisir la bonne chimiométrie pour construire des modèles robustes. Dans certains cas, les méthodes conventionnelles peuvent ne pas offrir une solution satisfaisante à un problème donné en raison de la complexité des données. Cela nécessite également le développement de nouvelles méthodes chimiométriques pour améliorer la fiabilité et la précision de l'étalonnage des modèles. En outre, il existe d'autres limitations de la spectroscopie PIR technique. La technique n'est pas sensible à la teneur en minéraux, car il n'y a pas d'absorption des minéraux dans la région du spectre PIR. Une autre façon de résoudre ce

problème est de combiner efficacement la détection de différentes techniques avec la spectroscopie PIR (Cimander *et al.*, 2002; Navratil *et al.*, 2004).

Dans les applications en ligne de la spectroscopie PIR sur les aliments, des essais ont été effectués dans les domaines suivants: viandes, fruits, légumes, céréales, et les produits céréaliers, lait et produits laitiers, boissons et d'autres domaines. A l'heure actuelle, la technique PIR est largement acceptée comme l'une des plus prometteuses des techniques de contrôle dans la chaîne alimentaire. Elle est évidemment non destructive. Des techniques utilisant différentes méthodes de détection ont été publiées ces dernières années (Cimander *et al.*, 2002; Navratil *et al.*, 2004). Bien que ces méthodes soient avantageuses, beaucoup d'efforts supplémentaires devraient être réalisés pour résoudre d'autres questions. Par ailleurs, il convient de mentionner que l'apparition de sondes à fibre optique qui améliorent considérablement la capacité des techniques PIR pour surveiller et contrôler les processus à distance dans la détection en ligne.

---

## **Partie II : MATERIELS ET METHODES**

---

## **Chapitre I**

### **I.1 Matériel végétal et préparation des extraits**

Les fruits matures de six espèces de baobab malgaches (*A. za*, *A. perrieri*, *A. suarezensis*, *A. grandidieri*, *A. rubrostipa* et *A. madagascariensis*) ont été récoltées dans différentes zones géographiques de Madagascar. Elles sont situées sur la côte ouest et au nord de Madagascar (**figure 15**).

- L'espèce *A. perrieri* a été récoltée sur le site Ambondromifehy,
- L'espèce *A. madagascariensis* sur le site Mahamasina/Ankarana et
- L'espèce *A. suarezensis* au Cape-Diego.
- L'espèce *A. grandidieri* a été récoltée sur deux sites distincts Kirindy et Adranomina.
- L'espèce *A. rubrostipa* a été récoltée sur trois sites distincts (Antsalova, Salary, Magily/Ifaty).
- Enfin, l'espèce *A. Za* a été récoltée sur trois sites distincts (Mahabo, Analave, Ejeda).

En 2009, seule deux espèces (*A. za* et *A. perrieri*) ont pu être récoltées. En 2010 toutes les espèces ont pu être récoltées; cependant l'obtention de la pulpe de baobab s'est avérée dépendre du nombre de fruits récoltés sur les différents arbres mais également de leurs moment de fructification.

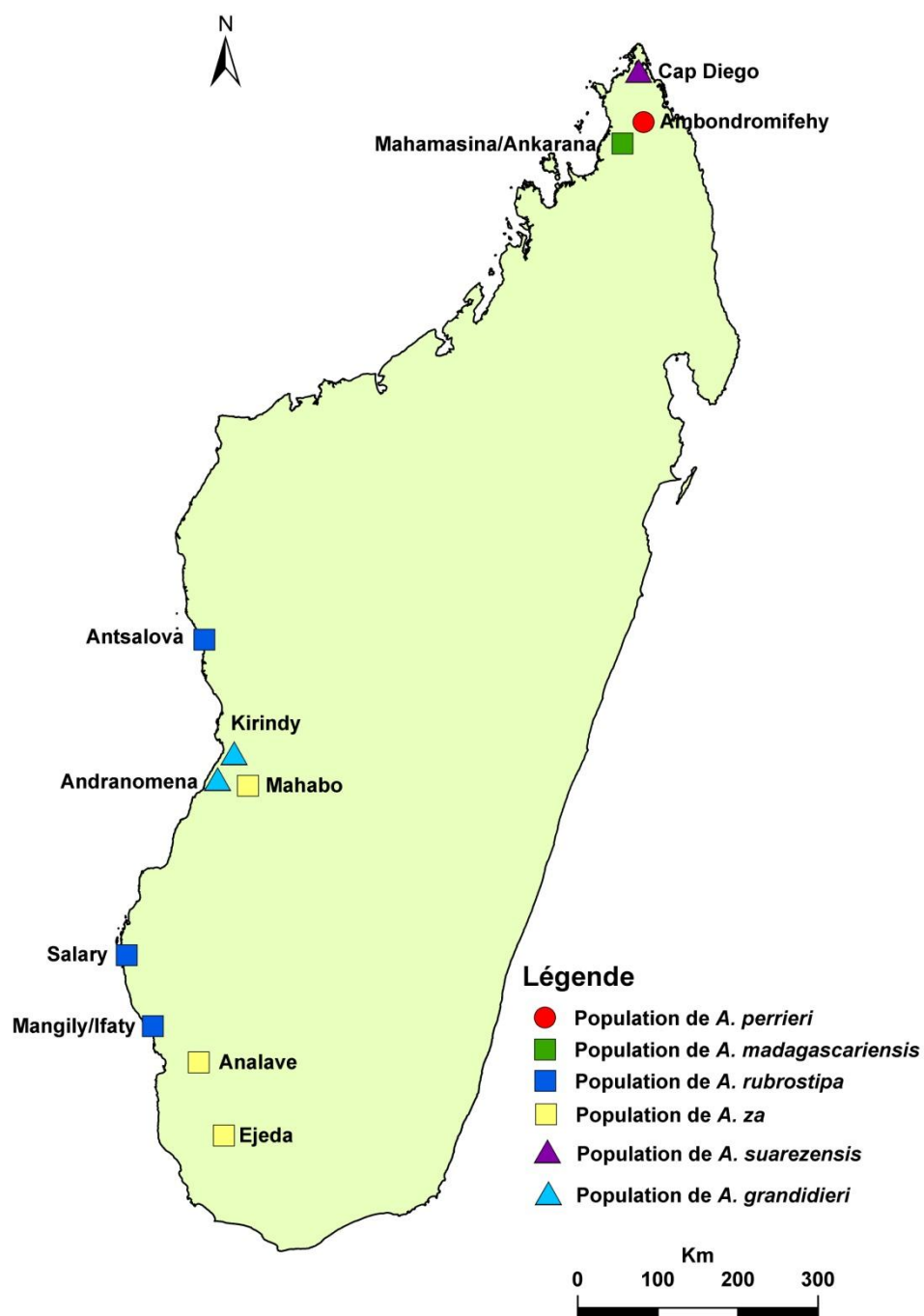


Figure 15 : Zones de prélèvement des échantillons à Madagascar.



Les fruits matures de l'espèce *A. digitata* ont été récoltés dans trois zones géographiques de la Côte d'Ivoire (**figure 16**) à Ferkessédougou (nord), Bouake (centre) et Yamoussoukro (centre-sud) pendant deux années consécutives 2009 et 2010.

Après la récolte, les fruits ont été cassés, la pulpe a été séparée des graines manuellement puis les échantillons de pulpe ont été conditionnés en sachets plastiques puis transportés au laboratoire de Montpellier, où ils ont été moulus en utilisant le moulin à café (prep'line) de marque SEB, tamisés (0,08 mm), puis conditionnés dans des sacs de congélation, conservés à - 80°C jusqu'à leurs utilisations.



**Figure 16 : Zones de prélèvement des échantillons en Côte d'Ivoire.**

## ***Chapitre II***

### ***II.1 Méthodes expérimentales pour la caractérisation des pulpes de Baobab***

Les méthodes d'analyses physico-chimiques classiques utilisées pour caractériser les pulpes de baobab et les différents produits sont décrites en détails ci-dessous.

#### **II.1.1 Détermination de la teneur en eau**

La pesée différentielle avant et après passage à l'étuve (103°C pendant 16 h) de 2 g d'échantillon broyé permet d'évaluer l'humidité de chaque échantillon de pulpe de baobab. La quantité d'eau présente dans chaque échantillon rapportée à la masse initiale de l'échantillon en pourcentage donne la teneur en eau.

#### **II.1.2 Détermination de la teneur en matières minérales**

3 g d'échantillon de pulpe de baobab broyée sont calcinés dans un four à cendres à 900°C pendant 3 h. La pesée différentielle avant et après calcination permet de déterminer le taux de matières minérales de l'échantillon en pourcentage de la matière sèche.

#### **II.1.3 Détermination de la teneur en lipides**

##### **II.1.3.1 Protocole de quantification de la teneur en matière grasse totale**

Trois g de pulpe de baobab sont placés dans des cartouches d'extraction en cellulose de marque Whatman (longueur externe de 80 mm et de diamètre interne de 33 mm). Le poids à vide des godets récoltant la matière grasse est déterminé.

L'extraction est effectuée par un système d'extraction liquide-solide automatique, de type SOXTEC de marque Avanti, pendant 2 heures à 135°C avec de l'éther de pétrole (Merck).

Les godets sont, ensuite, placés à l'étuve (100°C) pendant 30 minutes et refroidis dans un dessiccateur pendant 30 minutes. Ils sont pesés et la différence de poids des godets à vide et contenant la matière grasse permet la détermination de la teneur en matière grasse totale.

### **II.1.3.2 Détermination de la composition et de la quantification des acides gras**

#### **✓ extraction de la matière grasse**

Un volume exact de 5 mL d'éther de pétrole est ajouté dans les godets contenant la matière grasse totale. Ils sont, ensuite, placés dans un bac à ultrasons pendant 5 minutes, puis l'extrait est récupéré dans des vials de 10 mL. Un aliquot de 1 mL de l'extrait est transféré dans un ballon de 25 mL et l'éther de pétrole résiduel contenu dans cet extrait est évaporé par bullage à l'azote. Cet aliquot est destiné à la préparation des esters méthyliques.

#### **✓ Préparation des esters méthyliques**

Un volume exact de 3 mL de méthylate de sodium (Merck) et quelques pierres ponce sont ajoutés dans le ballon de 25 mL contenant la matière grasse totale préparée comme indiqué précédemment et le mélange est chauffé à ébullition pendant 10 minutes.

Ensuite, un volume exact de 3 mL de méthanol chlorhydrique (Merck) est ajouté et le mélange est chauffé à ébullition pendant 10 minutes. Après refroidissement du mélange à température ambiante, 10 mL d'hexane (Merck) et 10 mL d'eau distillée sont ajoutés dans le ballon. La phase hexanique contenant les esters méthyliques d'acides gras est récupérée en vue de son analyse par chromatographie en phase gazeuse.

### **II.1.3.3 Identification et quantification des acides gras**

Un chromatographe en phase gazeuse de marque FOCUS (Thermo électron corporation) muni d'un détecteur à ionisation de flamme est utilisé. La séparation est réalisée grâce à une colonne CP CIL 88 de marque Variant, d'une longueur de 50 m, d'un diamètre interne de 0,25 mm et d'une épaisseur de phase de 0,20  $\mu\text{m}$ . L'injecteur et le détecteur sont à une température de 250°C. Le débit du gaz vecteur (hydrogène) est de 1 mL/min. Les acides gras sont séparés suivant la programmation de température suivante : température initiale de 150°C, programmation de température à raison de 5°C/min jusqu'à 225°C et isotherme à 225°C pendant 10 minutes.

L'identification des acides gras est obtenue par comparaison de leurs temps de rétention relatifs à ceux d'une solution témoin d'acides gras. La quantification des différents acides gras est réalisée grâce à la calibration externe effectuée par une solution témoin d'acides gras, utilisée par le CIRAD, qui est listés dans le (tableau 6).

**Tableau 6 : Solution témoin d'acides gras utilisée pour l'analyse des acides gras.**

Acides gras	Dénomination
<b>Acides gras insaturés</b>	
C16:1	<i>trans</i> acide <i>trans</i> -palmitoléique
C16:1	<i>cis</i> acide <i>cis</i> -palmitoléique
C18:1 ω-9	acide oléique
C18:1 ω-7	acide <i>cis</i> -vaccénique
C20:1 ω-9	acide gadoléique
<b>Acides gras poly insaturés</b>	C18:2 <i>ct</i> acide <i>cis</i> , <i>trans</i> -linoléique
C18:2	<i>cc</i> acide <i>cis</i> , <i>cis</i> -linoléique
C18:3 ω-3	acide α-linolénique
C20:2 ω-6	acide 11, 14-eicosadiénoïque
<b>Acides gras saturés</b>	
C14:0	acide myristique
C16:0	acide palmitique
C16:0	<i>iso</i> acide isopalmitique
C18:0	acide stéarique
C20:0	acide arachidique
C22:0	acide béhénique

#### II.1.4 Détermination de la teneur en protéines

La quantité de protéines totales est calculée à partir de la teneur en azote en utilisant le facteur de conversion 6,25. L'appareil utilisé est un Kjeltéc 1030 Tecator. L'azote protéique est mesuré par la méthode de Kjeldahl ; sur 1 g d'échantillon broyé et minéralisé par 12 mL d'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur, le Kjeltabs CT/5 (5 g K<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>; 0,15 g TiO<sub>2</sub> ; 0,15 g Cu SO<sub>4</sub>, 5H<sub>2</sub>O) et puis distillé en présence de soude concentrée.

#### II.1.5 Détermination de la teneur en acides aminés libres

La détermination des acides aminés dans le nectar de baobab a été réalisée selon la méthode décrite par Kelly *et al.*, 2010. Une masse de 4 g de poudre de baobab a été tamisée afin d'éliminer les matières solides, homogénéisée dans 50 mL d'eau distillée puis centrifugée. Le surnageant du nectar de baobab a été dilué 20 fois avec de l'eau distillée et filtrée à l'aide d'une membrane (0,45µm). Les échantillons préparés ont été placés dans le passeur d'échantillons CLHP.

✓ Réactif de dérivation

Deux solutions ont été préparées :

- 1) 50 mg d'o-phthaldialdéhyde (OPA) ont été dissous dans 10 mL méthanol
- 2) 400 mg N-acétyl-L-cystéine (NAC) ont été dissous dans 50 mL d'un tampon borate 0,2 M ajusté à pH 9,5 avec de l'hydroxyde sodium.

Le réactif de dérivation composé de 2 mL de la solution NAC et 0,5 mL la solution OPA a été préparée extemporanément et mis à stabiliser à température ambiante pendant 90 min avant utilisation. La solution OPA a été préparée chaque semaine tandis que la solution NAC a été préparée tous les 14 jours.

✓ Dérivation

La dérivation a ensuite été effectuée en ajoutant 150  $\mu$ L de 0,2 M tampon borate à 100  $\mu$ L du mélange de (20 mg / l d'acide aminé et d'amine) puis 100  $\mu$ L OPA / CNLS-mélange d'un ratio de l'échantillon-réactif préalablement décrit dans l'analyse d'acides aminés et d'amines de vin (Pereira., 2008). Un aliquot de 20  $\mu$ L a été injectée manuellement après un temps de réaction 3 min. Le réactif OPA / NAC (1:5, v/v) a été préparé en ajoutant 0,5 mL d'OPA solution méthanolique à 2,5 mL de la solution NAC. Ce ratio de réactif a donné plus de résultats satisfaisants en termes de hauteur et de forme des pics. Il a ainsi été utilisé pour toutes les analyses ultérieures. Le réactif a été fraîchement préparé sur une base hebdomadaire et stocké à 4 °C.

## **II.1.6 pH et acidité titrable**

Le pH est mesuré avec un titrateur automatique commercialisé par SCHOTT Instruments et l'acidité par titration par de la soude 0,1 N jusqu'à pH 8,1. La mesure est réalisée à la température du laboratoire. Les résultats sont exprimés en grammes d'acide citrique pour 100 g de matière fraîche.

## **II.1.7 Mesure de l'extrait sec soluble**

Le degré Brix est mesuré avec un réfractomètre électronique ATAGO sans compensation de température.

## **II.1.8 Analyse des minéraux**

### **II.1.8.1 Mise en solution par minéralisation par voie sèche**

- ✓ **Principe:** en éliminant la matière organique et la silice des échantillons, cette méthode permet de mettre en solution, en vue de leur dosage, un grand nombre d'éléments minéraux.
- ✓ **Mode opératoire:** 500 mg de matériel végétal préalablement séché sont introduits dans une capsule en platine. La capsule est placée dans un four dont la température est progressivement augmentée jusqu'à 500°C, puis maintenue ainsi, durant 2 heures. Un pallier est effectué aux alentours de 200°C jusqu'à la fin du dégagement de fumées.

Après refroidissement, les cendres sont humectées avec quelques gouttes d'eau, puis 2 mL de HCl 6 N sont ajoutés. Après évaporation à sec, 2 mL de HCl 6 N sont rajoutés à nouveau. L'ensemble est laissé en contact 10 minutes, puis filtré dans une fiole jaugée de 50 mL. Le filtre contenant le résidu est alors calciné à 500°C. 1 à 2 mL d'acide fluorhydrique sont alors ajoutés sur les cendres, puis évaporés sur plaque chauffante. La silice contenue dans les cendres est ainsi volatilisée sous forme de  $\text{SiF}_6$ . Le résidu est repris par 1 mL de HCl 6 N puis filtré dans la même fiole de 50 mL. Après avoir ajusté avec de l'eau au trait de jauge, la solution est homogénéisée par agitation.

### **II.1.8.2 Dosage des éléments minéraux par spectrométrie d'émission plasma à couplage inductif (ICP)**

La solution précédente est analysée par un spectromètre VARIAN VISTA (Victoria, Australie), équipé d'un détecteur CCD (Coupled Charged Device) permettant la détermination simultanée, à plusieurs longueurs d'onde, de tous les éléments de la classification périodique des éléments à l'exception des corps gazeux. Les dosages sont effectués en réalisant un étalonnage respectant les conditions du milieu analysé : matrice, acidité. La validation des résultats repose sur l'analyse d'échantillons références dont la teneur en éléments minéraux est connue. Ces témoins suivent rigoureusement le même cheminement analytique que les échantillons et sont introduits à raison de un témoin minimum pour 20 échantillons.

## **II.1.9 Dosage de la vitamine C**

La teneur en vitamine C a été déterminée par oxydoréduction par le dichloro-2, 6-phénolindophénol (2,6-DCPIP) après extraction à l'acide métaphosphorique/acide acétique 100/80 (v/v). Trois grammes de pulpe ont été homogénéisés dans 30 mL d'une solution

métaphosphorique sous douce agitation pendant 30 min. Les échantillons ont été filtrés à l'aide d'un filtre à papier Whatman et 2 mL du filtrat ont été dosé par le 2,6 DCPIP jusqu'à l'apparition d'une coloration rose champagne persistante.

### **II.1.10 Dosage des polyphénols totaux**

Un total de 3 g de la poudre de baobab a été utilisé pour effectuer le dosage des polyphénols totaux. L'échantillon est extrait par 10 mL d'un mélange acétone/eau/ (70/28;v/v) durant 10 minutes. L'opération a été répétée deux fois. Les deux fractions ont été rassemblées et filtrées sur papier filtre. Le dosage a été effectué à l'aide du réactif de Folin-Ciocalteu selon la méthode mise au point par Georgé *et al.*, (2005). Cinq  $\mu\text{L}$  de filtrat ont été complétés à 500  $\mu\text{L}$  avec du méthanol, puis dosés avec le réactif de Folin-Ciocalteu. Parallèlement, 500  $\mu\text{L}$  de filtrat ont été additionnés à 3500  $\mu\text{L}$  d'eau et 2 mL de ce mélange ont été déposés sur une cartouche OASIS puis lavés avec deux fois 2 mL d'eau. Le volume total de la fraction éluée a été mesuré et 500  $\mu\text{L}$  de cette fraction ont été ensuite dosés. Les absorbances ont été mesurées à 760 nm par un spectrophotomètre UV 7200 (CECIL INSTRUMENTS, Royaume Uni). Les résultats sont exprimés en mg d'équivalents acide gallique pour 100 g de matière sèche et proviennent de la moyenne des trois essais.

### **II.1.11 Détermination du pouvoir antioxydant par la méthode ORAC**

La mesure du pouvoir antioxydant par la méthode ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) est basée sur la détection de la chute de fluorescence de la fluorescéine (FL), due à sa réaction avec le radical peroxy ROO dans une matrice alimentaire contenant des composés antioxydants. Plus l'activité antioxydante est élevée, plus lente sera la chute de fluorescence. L'effet protecteur des antioxydants a été évalué en mesurant l'aire sous la courbe de décroissance de la concentration de la fluorescéine.

Les essais ont été réalisés selon la méthode développée par Ou *et al.*, (2001) et utilisée par Gancel *et al.*, (2008), à l'aide d'un spectrofluorimètre à plaques (Infinite 2000, TECAN, Salzbourg, Autriche). Toutes les solutions ont été préparées dans du tampon phosphate 75 mM (pH = 7,4). Chaque puits a été rempli avec 160  $\mu\text{L}$  de solution de fluorescéine (FL) 78,75 nM et 20  $\mu\text{L}$  de tampon pour la solution témoin, de solution standard de Trolox pour la réalisation de la courbe d'étalonnage (gamme 0-40  $\mu\text{M}$ ) ou d'échantillon. La plaque a été incubée à 37 °C durant 15 min avant d'introduire 20  $\mu\text{L}$  d'une solution de 2-2 azobis (2-

amidinopropane) dihydrochlorure (AAPH) 178 mM (WAKO Chemicals, Richmond, USA). Les solutions de fluorescéine et de Trolox ont été préparées extemporanément. La solution d'AAPH a été également préparée le jour même. Après addition de l'AAPH, la fluorescence a été mesurée par minute, pendant une heure. Les longueurs d'onde d'excitation et d'émission sont respectivement de  $485 \pm 9$  nm et  $520 \pm 20$  nm. Les valeurs ORAC ont été calculées en utilisant une équation de régression entre la concentration de Trolox et l'aire nette sous la courbe de décroissance de la fluorescence.

L'aire sous la courbe (AUC) et l'aire nette (AUC net) ont été déterminées en utilisant les deux équations (1) et (2) :

$$AUC = 0,5 + \frac{1}{f_0} \sum_{t=1}^{59min} f_t \quad (1)$$

Dans laquelle  $f_0$  et  $f_t$  représentent respectivement la fluorescence initiale et celle lue au temps  $t$ . AUC net (extrait) = AUC (extrait) – AUC (blanc) (2)

La valeur relative ORAC, exprimée en micromoles équivalents Trolox par gramme de matière fraîche ( $\mu\text{M TE/g MF}$ ) est calculée à partir de l'équation (3) :

$$ORAC = \frac{AUC(trolox) - AUC(blanc)}{AUC(extrait) - AUC(blanc)} \quad (3)$$

Où [AUC (extrait)-AUC (blanc)] représente la concentration de l'échantillon et [AUC (trolox) –AUC (blanc)] la concentration en Trolox. Les valeurs ORAC sont exprimées en micromoles équivalents Trolox par gramme de matière fraîche ( $\mu\text{MTE/gMF}$ ).

### II.1.12 Dosage des sucres

Les sucres en milieu fortement basique ( $\text{pH} > 12$ ) se comportent comme des acides faibles ( $\text{pK}_a$  entre 12 et 14). Ionisés, ils peuvent être séparés par échange d'anions. La détection par ampérométrie basée sur la mesure du courant d'oxydation des sucres à un potentiel déterminé, présente une spécificité liée à la réaction électrochimique des groupements d'alcools secondaires.



### **II.1.12.1 Protocole d'analyse des sucres réducteurs**

#### **II.1.12.1.1 Extraction**

Deux grammes de pulpe de baobab sont placés dans des ballons de 100 mL. 80 mL d'eau distillée et quelques pierres ponce y sont ajoutés. L'ensemble est porté à ébullition pendant 30 minutes. La solution est refroidie jusqu'à une température de 25°C.

L'extraction est répétée trois fois sur chaque lot.

Les solutions sont filtrées sur Célite de marque Labosi, puis ajustées à un volume de 100 mL avec de l'eau distillée. Les solutions sont ensuite purifiées sur une cartouche C18. Un volume exact de 1 mL de l'extrait est récupéré dans des fioles de 25 mL complété par de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Les solutions contenues dans les fioles sont filtrées puis injectées en CLHP.

#### **II.1.12.1.2 Analyse et identification**

Un chromatographe liquide LC-20AB de marque Shimadzu est utilisé. Il est équipé d'une colonne Carbpac MA-1 d'une longueur de 25 cm, d'un diamètre interne de 4 mm. La phase mobile utilisée est de la soude à 75 mM. Les éluants utilisés sont l'eau ultra-pure et la soude (300 mM) : A (25%) / B (75%). Le volume d'injection est de 20 µL et l'analyse dure 10 minutes. L'identification des sucres est effectuée par un détecteur électrochimique muni d'une électrode en or utilisée en mode ampérométrique pulsée (E1 :+50mv t1 :400ms ; E2 :+750mv t2 :200ms ; E3 :-800mv t3 :300ms).

Le saccharose, le glucose et le fructose ont été identifiés en comparant leur temps de rétention par rapport à ceux des solutions de référence.

#### **II.1.12.1.3 Protocole de quantification**

Le dosage de ces molécules est réalisé grâce à une solution témoin, préparée à partir des standards de saccharose, glucose et fructose concentrés à 200 mg/L. Les valeurs quantitatives des teneurs en saccharose, glucose et fructose sont obtenues via la calibration externe réalisée grâce à notre solution témoin.

### **II.1.13 Activité de l'eau**

L'activité en eau a été mesurée à la température de 35°C à l'aide d'un appareil de marque AquaLab 4TE Decagon Devises Inc., (Pullman, WA, USA, figure 17) préalablement calibré avec des sels spécifiques d'activité en eau connue. Une quantité d'environ trois grammes de pulpe est introduite dans la cellule plastique et ensuite placée dans le

compartiment, fermé immédiatement. La valeur d'activité de l'eau s'affiche à l'écran en %. Cela a été répété toutes les semaines pendant 8 semaines.



**Figure 17 : Aqua labe Aw mètre.**

### **II.1.14 La viscosité**

Pour déterminer un ratio convenable suffisamment liquide, lors de la fabrication du nectar de la pulpe du baobab, différentes préparations de poudre de « baobab/eau » à des concentrations de 5,00%, 6,67%, 10% et 12,5% ont été préparées. La viscosité des solutions a été déterminée à 35°C en utilisant un viscosimètre rotatif Haake VT 550 (Berlin, Germany). Les résultats ont été analysés via le logiciel logiciel Haake VT 550.

### **II.1.15 Mesure de la couleur**

Un chromameter CR-410 Konica Minolta (Japon) a été utilisé pour la mesure de la couleur de la pulpe de baobab.

L'interprétation des couleurs de la poudre de baobab a été réalisée en utilisant la méthode de la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) qui consiste à mesurer les indices de couleur ( $L^*a^*b^*$ ). L'indice  $L^*$  indique la clarté des poudres et leurs degrés de blancheur, les indices  $a^*$  et  $b^*$  sont les coordonnées de chromaticité qui indiquent les sens des couleurs ( $+a^*$  rouge,  $-a^*$  vert,  $+b^*$  jaune et  $-b^*$  bleu).

En général, plus l'indice  $L^*$  est faible, plus les poudres baobab sont foncées. De plus, si une poudre possède des indices  $a^*$  et  $b^*$  de même valeur, sa couleur sera orange avec une intensité qui dépendra de la valeur de  $a^*$  et  $b^*$ , mais aussi de la valeur de  $L^*$ . Pour un même indice de clarté, une poudre aura une teinte plus marquée lorsque l'indice de saturation sera plus élevé. On passe ainsi pour un indice de clarté constant du beige clair au brun foncé

lorsque les indices  $a^*$  et  $b^*$  augmentent, ou pour des indices  $a^*$  et  $b^*$  constants lorsque l'indice de clarté diminue.

## **II.1.16 Caractérisation des profils aromatiques**

### **II.1.16.1 Micro-extraction en phase solide des composés volatils des échantillons**

Les composés volatils ont été extraits à partir de la pulpe de baobab grâce à la micro-extraction en phase solide (SPME, *Solid Phase Micro-Extraction*). Cette technique repose sur l'adsorption des composés chimiques volatils situés dans l'espace de tête (phase gazeuse située au dessus de l'échantillon) sur une phase polymérique supportée par une fibre en silice. Pour ce faire, une masse de  $1 \pm 0,05$  g de pulpe de baobab ont été introduits dans un flacon en verre de 10 mL, avec ou sans ajout eau (1 à 2 mL) lequel a été ensuite serti par un bouchon septum en téflon. Trois fibres SPME (SUPELCO) ont été testées, une PDMS/DVB (85  $\mu$ m), une carboxen-PDMS (75  $\mu$ m), une DVB/CAR/PDMS (50/30  $\mu$ m). Avant utilisation, les fibres ont été conditionnées selon les préconisations du fournisseur soit 250°C/une heure, 300°C/une heure, 270 °C/une heure respectivement.

La fibre DVB/CAR/PDMS (50/30  $\mu$ m) ayant une rétention plus diversifiée que les deux autres a été utilisée pour optimiser les conditions d'extractions des composés volatils. Les conditions HS-SPME utilisées sont les suivantes : avant chaque injection, nettoyage de la fibre par désorption thermique pendant 10 minutes à 250°C, mise à l'équilibre de l'échantillon de la pulpe de baobab 5 minutes à 60°C, exposition de la fibre dans la phase gazeuse pendant 30 minutes à 60°C et enfin désorption thermique dans l'injecteur du chromatographe pendant 4 minutes à 250°C.

### **II.1.16.2 Identification des molécules chimiques par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectroscopie de masse**

La chromatographie en phase gazeuse (GC) permet de séparer et de quantifier les composés volatils. Les analyses chromatographiques et les spectres de masses en impact électronique ont été obtenus avec un chromatographe Agilent 6980 couplé à un spectromètre de masse Agilent 5973N équipé d'une colonne DB-WAX (J&W Scientific, Folsom, CA) de 30 m \* 0.25 mm d.i., 0.25  $\mu$ m d'épaisseur du film. La ligne de transfert et l'injecteur étaient respectivement à 260°C et 250°C. Le débit du gaz vecteur est de 1.0 mL/min. La

programmation de température utilisée a été la suivante : un four à une température initiale de 40°C suivi d'une augmentation de température de 2°C/min jusqu'à 140°C, puis d'une seconde montée en température à 6°C/min jusqu'à 210°C permettant d'éluer la totalité des composés. Le temps total de la programmation est de 60,3 minutes. La température de la source est de 230°C. L'énergie d'ionisation est de 70 eV et les paramètres d'acquisition des spectres sont les suivants : de 40 à 300 uma pour la gamme de masse et 5,27 scans/seconde. L'identification des composés d'arôme a été effectuée par comparaison des spectres de masse à ceux de composés de référence trouvés dans la banque de données « Wiley mass spectral data ».

### ***Chapitre III***

#### ***III.1 Etude des procédés de transformation de la pulpe de Baobab en nectar et de conservation***

Les fruits de Baobab (*Adansonia digitata*) utilisés pour notre étude ont été récoltés à l'INP-HB de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). Le Baobab est débarrassé de ses coques et emballé dans des sacs synthétiques de 50 kg. Tous les sacs sont stockés au laboratoire dans des chambres froides à -20°C.

Les principaux équipements de laboratoires utilisés lors de cette analyse sont :

- Un bain-marie dont la température est réglable de 25 à 95°C utilisé pour réaliser la pasteurisation et la dégradation thermique.
- Des étuves de 30°C, de 37°C et de 45°C. Ces étuves ont été utilisées pour incuber nos boîtes en microbiologie, mais aussi pour conserver nos jus à 37°C.
- un réfrigérateur dont la température interne est de 4° C pour la conservation du nectar.
- Un autoclave pour la préparation des milieux de culture bactérienne.
- Des seaux en plastique pour la préparation du nectar.
- Des tamis de 500, 400 et de 800 µm pour la filtration du nectar.
- Des bouteilles en verre de 250 mL pour contenir le nectar.
- Deux thermomètres pour le suivi de la pasteurisation.
- Un chronomètre pour le suivi de la pasteurisation.

### ***III.2 Les procédures d'obtention des jus***

Nous avons choisi de transformer la pulpe en modifiant la méthode traditionnelle. Nous avons éliminé l'étape de lavage et de trempage de la pulpe utilisée traditionnellement. Nous n'avons pas utilisé d'eau afin d'obtenir de la poudre de baobab. Les différentes étapes de transformation que nous avons réalisées sont décrites ci-dessous :

- 1)-Le tri:* son but est d'éliminer les débris de coque, les fruits altérés et les impuretés. Il se fait manuellement.
- 2)-Le nettoyage :* son objectif est d'éliminer les impuretés de surface (sables, poussières) il s'effectue en frottant légèrement les fruits.
- 3)-le séchage (AW≈0,48):* l'objectif est d'éliminer le maximum d'humidité en le rendant plus apte au broyage par séchage au soleil.
- 4)-Le broyage à sec:* le but est de le transformer en farine (poudre du Baobab) avec pilage au pilon.
- 5)-Le tamisage :* il a pour rôle de séparer la poudre des fibres et des graines. En général un seul tamisage avec un tamis dont le diamètre des mailles varie entre 400 et 500 micromètres est utilisé afin d'obtenir une fine poudre.
- 6)-Mis en solution :* la poudre de baobab est mise en solution avec un ratio de 1kg/10L (eau à 45°C)
- 7)-Le conditionnement:* le conditionnement est fait dans des bouteilles en plastiques pour éviter le goût de métal. Si le produit doit subir une appertisation, le conditionnement se fait dans des bocaux en verre qui résistent à la chaleur. Et enfin les jus sont conservés à 4°C. (figure 18).

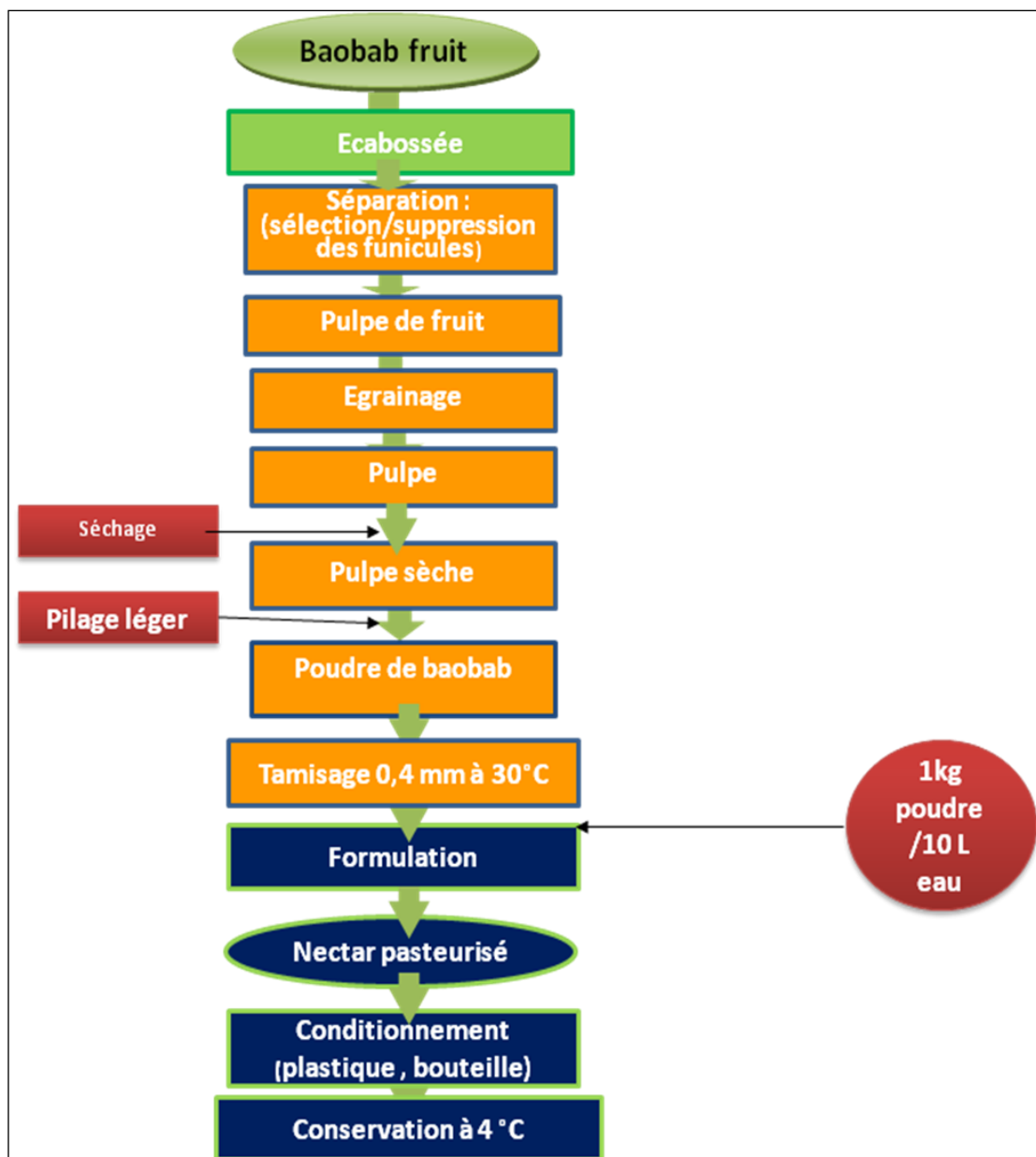


Figure 18 : Diagramme de transformation de la pulpe de baobab.

### III.3 Traitement thermique : Pasteurisation

Nous utilisons des flacons de 250 mL remplis de nectar et dans l'un d'eux une sonde de température est placée. Cette sonde nous permettra de suivre la température au centre de la bouteille qui est le point le plus difficile à atteindre par la chaleur.

Une autre sonde placée à l'extérieur permet de suivre la température de l'eau du bain-marie. Chaque minute, la température mesurée est relevée par les deux thermomètres. Arrivée à la température fixée à l'intérieur du nectar, la température est maintenue, par addition d'eau plus au moins chaude.

Après la stabilisation de cette température pendant un temps donné, un refroidissement sous une forte pression d'eau de robinet est réalisé. L'abaissement de la température jusqu'à la température ambiante est notée.

Ces données nous permettront de calculer la valeur pasteurisatrice par la méthode de Bigelow (Fogel *et al.*, 2004) décrite précédemment.

La valeur pasteurisatrice (VP) est définie à partir de l'évolution constatée de la température  $\theta(t)$  par la formule :

$$VP = \int 10^{\frac{\theta(t) - \theta_{ref}}{Z}} * dt$$

$$VP = \sum 10^{\frac{\theta_i - \theta_{ref}}{Z}} * \Delta t_i$$

Où les  $\theta_i$  sont des températures relevées à des intervalles de temps  $\Delta t_i$  dans le produit.

Z est l'élévation de température qui permet de réduire une population microbienne au dixième de sa valeur.

Vue la difficulté pour calculer cette intégrale, la méthode des trapèzes appelée méthode de Bigelow est utilisée :  $\text{Log} = aT + b$

$$\theta_{ref} = 70^\circ\text{C}$$

$Z = 10^\circ\text{C}$  pour le nectar de fruit.

### **III.4 Analyses microbiologiques**

Une étude quantitative des germes présents dans le nectar du Baobab a été réalisée. Elle permet d'évaluer la qualité hygiénique venant des producteurs d'une part, et d'autre part d'appréhender l'effet des différents processus sur la qualité du nectar. La numération a porté sur quelques indicateurs à savoir la flore mésophile aérobie totale, et la flore fongique (levures et moisissures).

### III.4.1 Principe de dénombrement

La flore mésophile aérobie totale représente le nombre de bactéries banales ou pathogènes qui se développent aux températures moyennes. Elle donne une indication intéressante sur l'hygiène des conditions de récolte, de séchage et de stockage des pulpes du baobab.

Le principe repose sur un ensemencement en profondeur du milieu de culture PCA (plate count agar) des échantillons, et de leurs dilutions décimales sur des paires de boîtes de Pétri qui seront incubées en aérobiose à 30°C, pendant 72 h. Les levures et moisissures sont rarement responsables d'intoxications, mais peuvent poser des problèmes de conservation des aliments. Le principe de dénombrement est basé sur l'ensemencement en surface d'un milieu sélectif (Sabouraud chloramphénicol) des échantillons et de leurs dilutions décimales choisies. L'incubation en aérobiose est faite à 25°C pendant 3, 4, voire 5 jours.

### III.4.2 Technique opératoire et méthode de calcul

La poudre du baobab est dissoute dans de l'eau peptonée à une dilution de  $10^{-1}$  et  $10^{-2}$ . Les extraits purs et leurs différentes dilutions (1 mL) sont ensemencés en masse sur des paires de boîte de Pétri. Le temps qui s'écoule entre la fin de la préparation et le moment où le milieu est coulé ne doit pas dépasser 15 min. L'inoculum et le milieu sont mélangés soigneusement, puis refroidis. Les boîtes sont ensuite placées à l'étuve. Pour le milieu Sabouraud, l'ensemencement se réalise en surface, en versant 0,1 mL de l'échantillon étalé sur le milieu à l'aide d'un racleur. Le calcul du nombre de microorganismes (flore mésophile aérobie totale, levures et moisissures) par millilitre d'échantillon à partir du nombre de colonies obtenues dans les boîtes de Pétri choisies est réalisé par l'équation (7)

$$N = \frac{\sum Ci}{(N1 + 0,1N2) * d} \quad (7)$$

où,  $\sum Ci$  : la somme des colonies caractéristiques comptées sur toutes les boîtes retenues,  $N1$  le nombre de boîtes retenus à la première dilution,  $N2$  le nombre de boîtes retenus à la seconde dilution et  $d$  : est le taux de dilution correspondant à la première dilution. Les valeurs sont exprimées en UFC.mL<sup>-1</sup>.



### **III.5 Analyses sensorielles**

#### **III.5.1 Caractérisation des profils organoleptiques**

Les profils organoleptiques des échantillons ont été caractérisés par des analyses sensorielles descriptives : celles-ci sont utilisées pour décrire et évaluer en intensité un ensemble de caractéristiques sensorielles appelées descripteurs ou critères. Ces analyses ont été réalisées grâce à un jury de dégustation, sélectionné pour l'étude.

#### **III.5.2 Sélection des échantillons et des descripteurs**

Une première dégustation de pulpe de baobab a été réalisée par le jury (8 membres). Cette première étape a permis de générer une liste commune de descripteurs caractérisant le produit (tableau 7) qui sera ensuite utilisée pour les autres analyses sensorielles.

#### **III.5.3 Analyse descriptive**

La qualité des échantillons de baobab a été évaluée par le jury selon la méthode d'établissement du profil de la flaveur (ISO 6564-1985) (1). Treize critères sensoriels ont été proposés au jury (tableau 7).

L'évaluation sensorielle de chaque produit se déroule en deux phases pendant lesquelles les experts évaluent chaque produit suivant les 13 critères organoleptiques préalablement définis. Tout d'abord, chaque panéliste procède à une analyse olfactive du produit et note les intensités aromatiques. Ensuite, chaque panéliste évalue le produit suivant les descripteurs gustatifs.

✓ Le logiciel Tastel® (logiciel d'assistance pour les analyses sensorielles) permet de générer les fiches d'évaluation à partir des paramètres suivants : la liste des descripteurs, l'échelle de notation (de 0 à 10), le nombre de juges (8), le nombre de produits à déguster (2 ou 3) ainsi que leur nom et enfin l'ordre de distribution des produits : le carré latin. Celui-ci permet de s'affranchir des effets liés à l'ordre de dégustation.

✓ Chaque juge dispose d'un box individuel équipé d'un crachoir et d'un ordinateur où se trouvent affichées les feuilles d'évaluations de chaque produit. Les produits numérotés de façon aléatoire (avec un code à trois chiffres) sont disposés en ligne selon l'ordre imposé par le carré latin.

**Tableau 7 : Descripteurs utilisés pour les analyses sensorielles et leur définition.**

<i>Intensité odeur végétale</i>	force de l'odeur végétale
<i>Intensité odeur fruitée</i>	force de l'odeur de fruit
<i>Intensité odeur grillée</i>	force de l'odeur grillée
<i>Acide</i>	qualifie la saveur élémentaire
<i>Amer</i>	qualifie la saveur élémentaire
<i>Astringent</i>	qualifie la sensation complexe résultant de la contraction de la surface des muqueuses de la bouche, produite par des substances telles que les tanins du kaki et de la prune : sensation d'assèchement
<i>Sucré</i>	qualifie la saveur élémentaire
<i>Fruité</i>	goût de fruits murs
<i>Animal</i>	goût rappelant les étables ou les animaux
<i>Végétal</i>	goût de vert ou légumes verts.
<i>Granuleux</i>	qualifie la sensation de rugosité sur la langue
<i>Épaisseur en bouche</i>	qualifie la sensation viscosité en bouche
<i>Persistance en bouche</i>	qualifie la durée de la perception en bouche

### III.5.4 Déroutement d'une analyse sensorielle, Test triangulaire.

Dans un second temps, des tests triangulaires d'analyses sensorielles ont été réalisés avec le jury pour déceler des différences entre les produits (pasteurisé et non pasteurisé), pour évaluer l'effet du processus de pasteurisation sur la qualité sensorielle. En second lieu, pour évaluer l'effet de la température de stockage sur la qualité sensorielle, le nectar conservé à 4°C, pendant 54 jours a été comparé avec le nectar frais. L'analyse des résultats permet de définir s'il existe des différences entre les échantillons avec un niveau de confiance de 95 %.

Les dégustations effectuées sont conduites selon la méthode de l'essai triangulaire (norme ISO 4120-1983). Trois boissons sont présentées (deux sont identiques) le jury répond obligatoirement à la question «Quel est l'échantillon unique». Les échantillons ont été codés et présentés selon les six ordres de combinaisons possibles. Le nombre de réponse correcte permet de déterminer s'il existe une différence significative entre les échantillons présentés. Les trois séances ont été préparées pour étudier l'effet de la pasteurisation et de la conservation sur le nectar d'*Adansonia digitata*.

## ***Chapitre IV***

### ***IV.1 Conditions de la spectroscopie proche infra rouge (SPIR)***

**Préparation de l'échantillon :** Environ 3 grammes de pulpe de baobab sont disposés dans une cellule en quartz spécialement conçue pour la SPIR, de 4 cm de diamètre et 1cm de profondeur. Chaque échantillon est analysé en double.

**Acquisition :** L'acquisition des spectres en spectroscopie proche infra rouge est réalisée par un appareil Foss-Perstorp 6500 en mode réflectance, à l'aide d'un module tournant (spin cell). Les spectres sont acquis en réflexion diffuse de 400 à 2 500 nm (visible et proche infra rouge), avec un pas de 2 nm. Une Racine Moyenne des Carrés (RMS) entre les deux échantillons supérieurs à 300, nécessite un troisième échantillon.

### ***IV.2 Traitement de l'acquisition***

Les données spectrales sont collectées et traitées par le logiciel NIRS 2 version 4.11 (InfraSoft International), puis transformées en passant d'un pas de 2 nm à 8 nm.

---

## **Partie III : RESULTATS ET DISCUSSION**

---

L'objectif de cette étude est d'aborder la problématique de la caractérisation, de la transformation, de la conservation et de la valorisation du fruit du baobab. Ainsi, nos résultats seront organisés et présentés en chapitres pour traiter et mettre en exergue les avancées enregistrées ainsi que les points devant faire l'objet d'études plus approfondies.

## **Chapitre I**

### **I.1 Caractéristiques physico-chimiques et composition chimique des échantillons de baobab**

La composition biochimique de la pulpe des fruits des échantillons issus de six espèces de baobab, dont cinq espèces de baobab provenant de Madagascar et d'une espèce provenant de Côte d'Ivoire a été évaluée pour leurs teneurs en matières grasses, en protéines, en glucides, en vitamine C, en polyphénols, en fibres, en cendres, en minéraux, en arômes selon différentes méthodes normalisées. Les espèces endémiques malgaches ont été comparées et discutées en relation avec la composition biochimique de l'espèce soudano-sahélienne (*Adansonia digitata*) et d'autres fruits de grande consommation.

#### **I.1.1 Teneur en matière sèche et degré Brix**

La matière sèche (MS) constitue la partie restante d'un échantillon biologique frais après dessiccation à 105°C. Les résultats d'analyse gravimétrique de la matière sèche sont donnés dans le **tableau 8**. L'humidité des différentes espèces se situe entre 12 et 13,5% avec une moyenne de 12,5%. La plus forte teneur en humidité a été observée chez l'espèce *A. grandidieri* tandis que la plus faible a été observée chez *A. rubrostipa*. Nos résultats sont similaires à ceux rapportés par ceux de Busson, 1965; Lockett *et al.*, 2000; Nour, Magboul, *et al.*, 1980b; Osman, 2004; Salak, 2002; Soloviev *et al.*, 2004; Wehmeyer, 1996, qui ont observé des valeurs se situant entre 2 et 27% avec une moyenne de 11,6% pour l'espèce *A. digitata* (**tableau 8**).

Le brix est de  $6,7 \pm 0,10$ , ce qui est moins élevé que celui du jus de cantaloup frais (8,4 brix°) (Moustufa, 2002), et celui du jus de mangue fraîche (18,2 °brix°) rapporté par Zeid (1996).

**Tableau 8 : Teneur en matières sèches et composition chimique et nutritionnelle de la pulpe de baobab de cinq espèces malgaches et de l'espèce africaine *A. digitata* collectée en Côte d'Ivoire.**

	Espèces Malgaches					Espèces Africaines		
Macronutriments	<i>A. za</i>	<i>A. perrieri</i>	<i>A. grandidieri</i>	<i>A. rubrostipa</i>	<i>A. madagascariensis</i>	<i>A. digitata</i>	Littérature g/100g	Références
<b>Matière sèche g/100g</b>	86,53 (1,25)	87,23 (0,1)	86,5 (0,2)	88,2 (0,2)	88,28	88,33 (0,1)	88,4	(Lockett <i>et al.</i> . 2000; Murray <i>et al.</i> . 2001; Osman. 2004; Soloviev <i>et al.</i> 2004)
<b>Lipides g/100g</b>	0,47 (0,18)	1,15 (0,0)	1,69 (0,0)	1,64 (0,0) <sub>14</sub>	2,05	0,94 (0,1)	0,21 – 15,5	Lockett2000; Murray <i>et al.</i> . 2001;Osman. 2004)
<b>Protéines g/100g</b>	2,45 (0,42)	3,08 (0,96)	3,49 (0,53)	6,32 (1,30)	3,59 (0,02)	3,03 (1,07)	2,5 – 17	Lockett <i>et al.</i> 2000; Murray <i>et al.</i> . 2001; Osman <i>et al.</i> 2004
<b>Amidon g/100g</b>	38.84 (0.47)	71.67 (0.30)	26.13 (0.32)	43.88 (0.33)	60.82	39.18 (0.39)		
<b>Glucose g/100g</b>	5,32 (0,9)	2,87 (0,8)	8,90 (1,6)	3,85 (0,02)	2,94 (1,85)	7,93 (0,7)		
<b>Fructose g/100g</b>	5,43 (0,8)	3,21 (1,0)	9, 94(1,9)	4,08 (0,1)	3,51 (2,0)	7,02 (1,8)		
<b>Saccharose g/100g</b>	1,04 (0,5)	1,03 (0,4)	5,20 (1,7)	0,57 (0,02)	1,25 (0,77)	1,70 (0,3)		
<b>Fibres g/100g</b>	25,78	17,20	25,09	27,89	25,82	25,25		
<b>Cendres g/100g</b>	5,32	7,80	6,13	6,92	7,13	5,21	4,9 - 6,4	Murray <i>et al.</i> .2001

## I.1.2 Teneur en lipides de la pulpe de baobab

### I.1.2.1 Lipides

Les matières grasses ont été extraites avec de l'éther de pétrole en utilisant le système d'extraction Soxtec. Les teneurs en matières grasses des différentes espèces de baobab sont assez faibles, variant de 0,5 à 2 g/100g (**tableau 8**). L'espèce *A. madagascariensis* s'est avérée la plus riche en matière grasse, les valeurs sont comparables à celle de Lockett *et al.*, (2000), qui ont trouvé une très faible teneur en matière grasse de 0,21 et 0,41 g / 100 g MS. Cependant, elles sont inférieures à celles de Nour *et al.*, (1980b) et Glew *et al.*, (1997) de 0,21 g/100 g à 15,5 g/100 g avec une moyenne de 3,6 g/100 g MS pour *A. digitata*. Cette teneur de 15,5 g/100 g est très surprenante car elle est plus importante que la teneur trouvée dans la graine de baobab (9 g de lipides / 100 g MS). La méthode Soxtec utilisée dans notre étude a donné 0,94 g / 100 g MS chez *A. digitata*, deux fois plus élevé que les valeurs rapportées par Lockett *et al.*, 2000 dans les mêmes espèces et en utilisant la même méthode. Il apparaît donc que les variations observées peuvent résulter des méthodes d'analyse utilisées, mais aussi des écotypes des différents baobabs ainsi que des espèces étudiées.

Cette teneur en lipides correspond à celle trouvée dans des jus d'agrumes, tel que le jus d'orange (1,7%) (USDA, 2006). Le pourcentage en acides gras insaturés et polyinsaturés de la matière grasse de baobab était de 65,5%. Cette teneur importante est pourtant inférieure à celle de l'huile de maïs qui est de 85,5% ou de l'huile d'olive avec 83,4%. La pulpe de baobab est donc un aliment ayant une teneur en lipides très faible, il pourrait donc être un aliment prisé auprès des consommateurs dans le monde où notre dépense énergétique baisse dans le cadre d'un mode de vie de plus en plus sédentaire où les maladies cardiovasculaires et diabètes font beaucoup de victimes (Déprez *et al.*, 2001).

### I.1.2.2 Composition en acides gras de la pulpe

Les profils des acides gras de la pulpe des baobabs malgaches et ivoiriens ont été étudiés et les résultats sont donnés dans le **tableau 9**.

**Tableau 9 : profils des acides gras de la pulpe des baobabs Malgaches et Ivoiriens (%).**

Acides gras	<i>A. digitata</i>	<i>A. za</i>	<i>A. perrieri</i>	<i>A. grandidieri</i>	<i>A. rubrostipa</i>	<i>A. madagascariensis</i>	olive	maïs
<b>C8:0</b>	1,18	3,64	1,38	1,76	0,64	1,47	-	-
<b>C10:0</b>	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	nd*	nd
<b>C 12:0</b>	0,41	1,30	0,56	0,49	0,00	0,45	nd	nd
<b>C14:0</b>	0,30	1,07	0,42	0,61	0,66	0,71	nd	0
<b>C15:0</b>	0,20	0,43	0,27	0,27	0,00	0,00	—	—
<b>16:0</b>	27,28	35,78	31,38	39,07	28,36	35,05	13,8	11,7
<b>16:1</b>	0,27	0,34	0,51	0,00	0,78	1,20	1,4	0,1
<b>17:0</b>	0,61	0,79	0,75	0,25	0,00	0,00	—	—
<b>18:0</b>	5,76	4,58	4,46	5,19	4,00	5,64		
<b>18:1 (n-9)</b>	27,27	13,65	24,58	13,65	34,71	28,90	2,8	2,2
<b>18:1 (n-7)</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72	31,6
<b>18:2 (n-6)</b>	21,83	17,12	15,14	14,54	19,46	17,15	—	—
<b>18:3 (n-6)</b>	0,13	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00		
<b>18:3 (n-3)</b>	13,41	14,77	14,81	23,55	7,87	7,10	9	53
<b>20:0</b>	0,40	3,42	4,29	0,61	1,61	1,92	1	0,8
<b>20:1 (n-9)</b>	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	nd	0,4
<b>22:0</b>	0,13	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	—	—
<b>24 : 0</b>	0,17	0,42	0,06	0,00	0,00	0,00	-	-

Quelque soit les espèces, trois acides gras saturés (acides palmitique, stéarique et arachidique) et trois acides gras insaturés (acides oléique, linoléique,  $\alpha$ -linoléique) sont majoritaires. En effet, ces acides gras représentent 89% à 96% de la matière grasse totale, 33 à 44% pour les saturés et 45 à 62% pour les insaturés.

Parmi les acides gras saturés, l'acide palmitique est le plus important et représente 30% de la matière grasse, contre 5% pour l'acide stéarique. Ce dernier ne varie pas en fonction de l'espèce contrairement à l'acide palmitique qui est très fortement présent pour les trois



espèces Malgaches (*A.za*, *A.grandidieri* et *A.madagascariensis*). L'acide arachidonique est quant à lui plus faiblement représenté dans les espèces *A.digitata* et *A. grandidieri* et inversement plus important chez *A.za* et *A.perrieri*.

Les teneurs en acides gras insaturés sont assez variables en fonction des espèces. L'acide oléique ne représente que 14% de la composition totale pour les espèces *A.za* et *A. grandidieri*. Dans les autres espèces, cet acide gras représente l'acide gras insaturé majoritaire avec des teneurs allant de 25 à 35%. Cet acide gras est donc présent en quantité beaucoup plus importante dans la matière grasse de baobab que dans l'huile du jus de pamplemousse (0,1%), des fruits de la passion (0,2%) et d'orange (0,3%) (USDA, 2006). La variation pour l'acide linoléique, acide gras essentiel, est plus faible, il varie seulement de 14 à 21%. Cette teneur en acide est plus faible que dans l'huile de maïs (53%) et l'huile d'olive (9%). L'acide linolénique, également acide gras essentiel, est faiblement présent dans les espèces *A. rubrostipa* et *A. madagascariensis* (7%) et très fortement chez *A. grandidieri* (23%) en comparaison des autres espèces qui possèdent des teneurs de 14%.

Malgré une faible teneur en lipides, il semble bien que la composition en acide gras puisse avoir quelques spécificités en fonction des espèces et plus précisément sur leurs teneurs en acides gras insaturés. Deux études ont été réalisées sur la composition en acides gras chez *A. digitata* (Glew *et al.*, 1997; Sena, L. *et al.*, 1998). Une partie des teneurs que nous avons mesurées sont similaires à celles décrites par les auteurs (acide stéarique, oléique, arachidique) contrairement aux teneurs en acide linoléique qu'ils ne détectent qu'à des concentrations faibles.

Afin de valider et confirmer ces données qui s'avèrent différentes, une étude plus spécifique reste à réaliser. Cette étude montre que la proportion en lipides de la pulpe de baobab quoique très faible, s'avère équilibrée en apport en acides gras saturés et insaturés.

### I.1.3 Teneur en protéines de la pulpe de baobab

#### I.1.3.1 Protéines

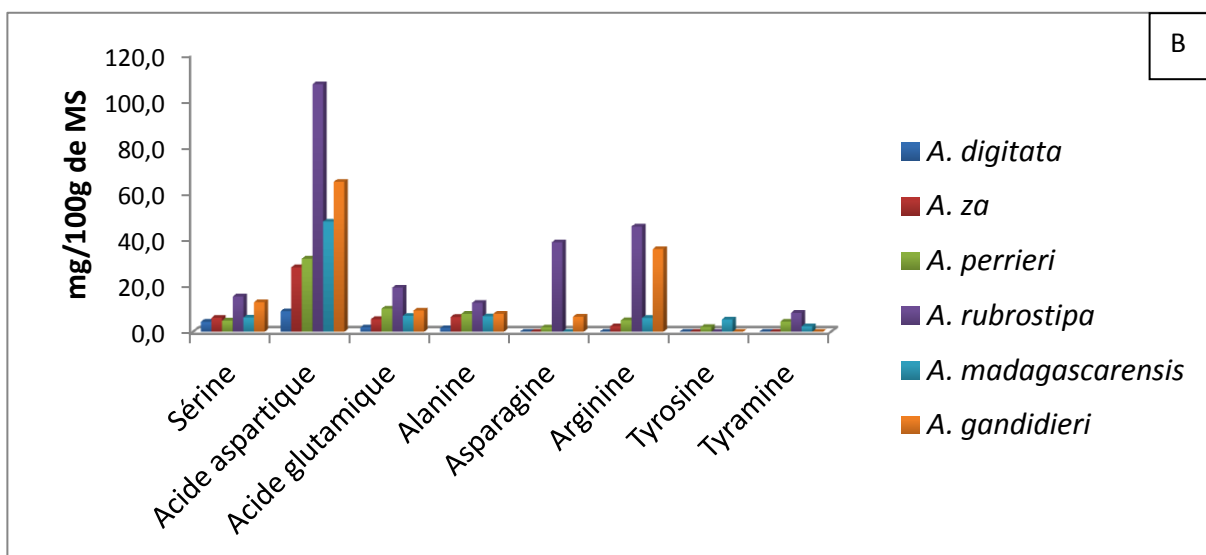
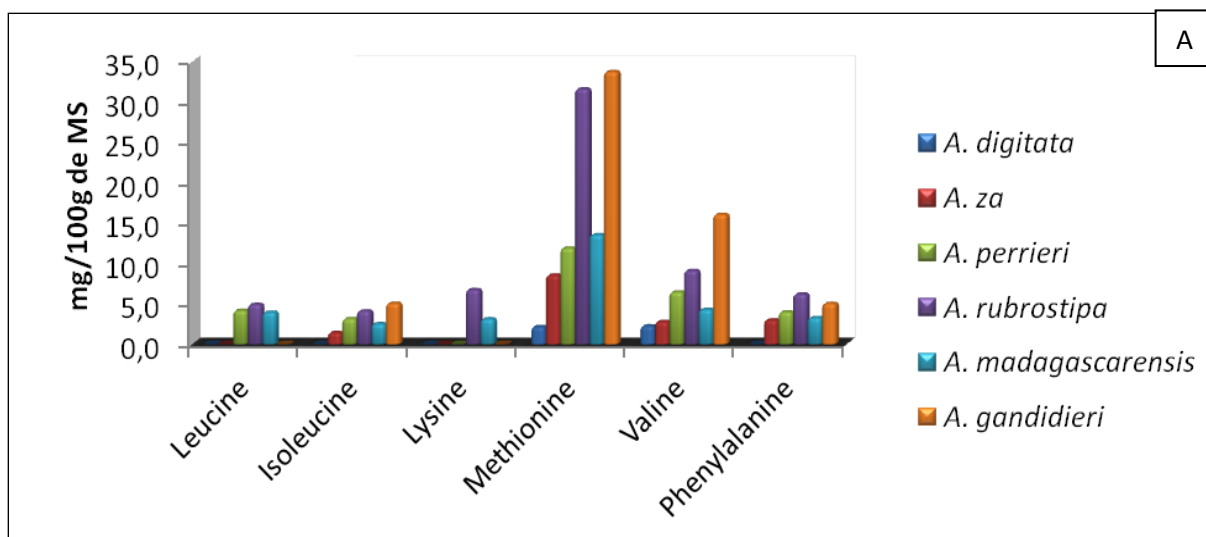
Les teneurs en protéines ont été déterminées en utilisant la méthode de Kjeldahl, le facteur 6,25 de conversion de l'azote en protéines a été utilisée (Anon., 1990).

Les teneurs en protéines des six espèces de baobab varient de 2,45 à 6,32% (**tableau 8**). L'espèce *A. rubrostipa* révèle la valeur la plus élevée en protéines (6,32 g/100g). Cette teneur qui est deux fois supérieure à toutes les autres espèces étudiées, pourrait permettre de discriminer cette espèce des autres. L'espèce *A. digitata* contient 3g/100g de protéines et se situe dans la moyenne des autres espèces Malgaches. Elle est très similaire à celles rapportées par Lockett *et al.*, 2000; Osman, 2004 qui ont rapporté 3,6 g/100 g pour l'espèce africaine *A. digitata*. Toutefois, Obizoba & Amaechi, 1993a ont observé une grande variation, avec des valeurs allant de 2,5 g/100 g à 17,0 g/100 g chez l'espèce *A. digitata*. Il apparaît que toutes les espèces étudiées, à l'exception d'*A. rubrostipa*, présentent un contenu protéique très semblable. Des fruits de grande consommation tels que la papaye (0,5 g/100g MS), le kiwi (1,14 g/100g MS) et le fruit de passion (2,6g/100g MS) (Besco *et al.*, 2007; Rodrigues *et al.*, 2001) ont des teneurs inférieures à celles du baobab.

#### I.1.3.2 Composition en acides aminés

Les acides aminés contribuent à la valeur nutritionnelle des aliments. Ils peuvent également participer à la production de composés d'arôme dans les aliments comme le fromage, vin, miel et autres denrées alimentaires fermentés (Ozcan *et al.*, 2008). Il y a un intérêt croissant pour l'analyse des acides aminés libres en raison de leur rôle central en tant que précurseurs d'arôme libérés lors de la fermentation ou le vieillissement.

Les concentrations en acides aminés de la pulpe des baobabs malgaches et ivoiriens ont été mesurées et les résultats sont présentés dans les **figure 18 A et B**.



**Figure 18 : Teneur en acides aminés essentiels (A) et non essentiels (B) de la pulpe de baobab des échantillons malgaches et ivoiriens.**

Les concentrations sont très différentes d'une espèce à l'autre. Six acides aminés ont été détectés pour *A. digitata* (méthionine, valine, sérine, acide aspartique, acide glutamique, alanine). Cependant, cette teneur est faible, 21,2mg/100g de MS, ce qui correspond à l'espèce la moins diversifiée et donc la plus pauvre en acides aminés libres. Parmi les espèces malgaches, *A. rubrostipa* et *A. grandidieri* ont les teneurs totales les plus élevées, 301,4 et 197,2 mg/100g MS respectivement. Parmi les acides aminés essentiels détectés la méthionine, la valine, l'isoleucine et la phénylalanine sont présents chez toutes les espèces malgaches. La méthionine et la valine sont les deux acides aminés essentiels les plus importants chez toutes les espèces. La lysine n'a été quantifiée que pour les espèces *A. rubrostipa* et *A.*

*madagascarensis* et la leucine n'a été trouvée que dans *A. perrieri*, *A. madagascariensis*, *A. rubrostipa*.

Parmi les autres acides aminés identifiés, l'acide aspartique est l'acide aminé le plus présent chez toutes les espèces. *A. rubrostipa* possède en comparaison des autres espèces malgaches de fortes teneurs en asparagine, arginine, acide glutamique et sérine, tandis que *A. grandidieri* contient une forte teneur en arginine et sérine. L'analyse de nos résultats a montré que les acides aminés essentiels tels que la leucine, lysine, isoleucine, valine, tryptophane, sérine et thréonine étaient en quantités inférieures à celles recommandées par la FAO/WHO/UNU, mais ils sont intéressants en raison de leur diversité dans la pulpe de baobab. Glew *et al.*, 1997; Osman, 2004; Sena *et al.*, 1998 ont utilisé des méthodes similaires pour la détermination des acides aminés dans la pulpe de l'espèce *A. digitata*. Leurs résultats montrent que la plupart des acides aminés essentiels sont présents. La plus forte teneur a été trouvée pour la tyrosine (8,5 g/100 g de protéines), l'acide glutamique (8,4 g/100 g de protéines), l'acide aspartique (7,5 g/100 g de protéines), l'arginine (6,8 g/100 g de protéines) et la glycine (6,2 g/100 g de protéines). Les valeurs les plus faibles ont été trouvées pour les acides aminés soufrés, à savoir la cystéine (1,3 g/100 g de protéines) et la méthionine (1,9 g/100 g de protéines).

#### **I.1.4 Fibres**

Les teneurs en fibres des différentes espèces de baobab étudiées varient de 17,2 g/100 g MS à 27,9 g/100 g MS (**tableau 8**). La plus grande teneur en fibres est de 27,9 g/100 g MS chez l'espèce *A. madagascariensi* et la plus faible chez *A. perrieri*. Les autres espèces ont des teneurs proches de *A. madagascarensis*. Lockett *et al.*, (2000) et Osman, (2004) ont mesuré ces teneurs à l'aide de différentes méthodes et ont rapporté une grande amplitude de variation, de 0,67 g/100 g MS à 12,57 g/100 g MS pour l'espèce *A. digitata*. Par ailleurs, Murray *et al.*, (2001) ont trouvé, après une analyse des fibres, une valeur de 45.1 g/100 g MS, qui, jusqu'à ce jour demeure la plus haute valeur en fibre rapportée. La moyenne des valeurs observées par les autres auteurs est de l'ordre de 13,7 g/100 g MS. Murray *et al.*, (2001) ont réalisés cette analyse (après l'extraction de la matière grasse) par une méthode gravimétrique. Il apparaît clairement que les méthodes d'analyses conduisent à des résultats très variables pour le même matériel biologique.

### I.1.5 Glucides

Comme pour la plupart des fruits, les glucides représentent entre 50 et 70 % de la matière sèche et se composent pour moitié de sucres solubles. Parmi les sucres solubles, le glucose est le moins représenté, mais la teneur en sucres réducteurs (glucose + fructose) est supérieure à la teneur en saccharose. Notre étude a relevé une grande variabilité entre espèce eu égard à leur contenu en glucides (**tableau 8**). La teneur en amidon varie de 26,1 à 71,7%. Les espèces *A. grandidieri* (8,9% glucose ; 9,9% fructose ; 5,2% saccharose), *A. digitata* (7,9% glucose; 7,0% fructose; 1,7% saccharose) et *A. za* (5,3% saccharose et glucose ; 5,4% fructose ; 1,04% saccharose) ont montré les plus fortes teneurs en sucres réducteurs. La présence de sucre a été aussi mesurée auparavant par Soloviev *et al.*, 2004. Ces auteurs ont observé un total de sucres solubles de 7,2 et 11, 2 g/100 g MS dans la pulpe de baobab africain. Nour *et al.*, (1980) ont aussi rapporté 23,2 % de sucres totaux et 19,9 % de sucres réducteurs chez *A. digitata*. Selon Murray *et al.*, (2001) les sucres simples dans la pulpe de baobab représentent environ 35,6 % des glucides totaux. Ceci explique le goût sucré (doux) de la pulpe. Cependant, la douceur peut varier selon les différents types de pulpes et d'espèces comme le révèlent les différentes teneurs de notre étude.

### I.1.6 Cendres

Pour toutes les espèces étudiées ici, nos résultats varient de 5,2 à 7,8g/100g. La plus forte teneur en cendres a été observée chez *A. perrieri* avec 8g/100g MS. Lockett *et al.*, (2000) ; Murray *et al.*, (2001) ont rapporté des teneurs en cendres de 5,1 à 5,7 g/100g MS chez l'espèce *A. digitata* tandis que Obizoba & Amaechi, (1993b) ont observé de très faibles teneurs (2,4 g/100g) chez la même espèce.

### I.1.7 Vitamine C

La teneur en vitamine C des six espèces de baobab figure dans le **tableau 10**. Ces valeurs se situent entre 60 et 138 mg/100g MS. L'espèce *A. za* a montré la plus forte teneur en cette vitamine tandis que *A. grandidieri* a révélé une proportion deux fois inférieure. Il apparaît clairement qu'il existe une grande variabilité de la teneur en vitamine C non seulement au sein des espèces endémiques de Madagascar, mais également avec l'espèce soudano-sahélienne *A. digitata*. En effet, en plus de la variabilité inter-espèces, Scheuring *et al.*, (1999a) ont rapporté une remarquable variabilité entre arbres de la même espèce. Les

conditions pédoclimatiques, le stade de maturité du fruit à la récolte et les conditions de stockage de la pulpe sont autant de facteurs qui peuvent expliquer ces variations. En comparaison avec d'autres fruits, notre étude montre que la teneur en vitamine C des baobabs (60 - 138 mg/100g) est similaire à celles des fruits comme le kiwi qui est de 98 à 180 mg/100g et est supérieure à d'autres comme l'orange 37 à 92 mg/100g MS, ou la papaye 62 mg/100gMS (Bourgeois, 2002; Rodrigues *et al.*, 2001). Cependant cette teneur est moins importante que celle trouvée par d'autres auteurs comme Gebauer *et al.*, (2002) qui ont observé 300 mg/100g de vitamine C chez *A. digitata*. Ces résultats permettent de classer les produits du baobab parmi les fruits les plus riches en vitamine C, cela fait du baobab un aliment qui pourrait être intéressant pour participer à la prévention des maladies cardiovasculaires via ses propriétés antioxydantes (Donovan & Harper, 2002).

### **I.1.8 Acidité titrable et pH**

Les échantillons de la pulpe de toutes les espèces de baobab analysées ont montré une acidité titrable très élevée, variant de 95 meq/100g chez l'espèce *A. madagascariensis* à 161 meq/100g chez l'espèce *A. za*, celle de *A. digitata* est de 102 meq/100g (**tableau 10**). Le pH de la pulpe est de l'ordre de 3,3.

**Tableau 10 : Composition chimique et nutritionnelle de la pulpe de Baobab des six espèces étudiées (Malgaches et Ivoiriennes).**

	Espèces malgaches					Espèces Africaines		
Macronutriments	<i>A. za</i>	<i>A. perrieri</i>	<i>A. grandidieri</i>	<i>A. rubrostipa</i>	<i>A. madagascariensis</i>	<i>A. digitata</i>	Littérature g/100g	Références
Acidité meq/100g	161,1 (47,6)	132,2 (19,6)	112,3 (28,4)	142,3 (33,1)	95,4	102,6 (6,2)	>40	Diop <i>et al</i> 2005
Vit. C mg/100g	137,8 (2,4)	70,5 (10,3)	60,2 (9,9)	92,4 (24,5)	76,3	67,1 (13,0)	300	Gebauer. <i>et al</i> 2002
Polyphénols mg/100g	1706 (9)	329 (221)	600 (611)	715 (617)	1126	1084 (532)	250	Cisse <i>et al.</i> 2008
Capacité Antioxydante µmoles TE/g	151 (60)	151 (47)	115 (32)	159 (91)	113	108 (5)	25	Besco <i>et al.</i> 2006

-(écart type) ;

-TE: Trolox Equivalent.

## **I.1.9 Polyphénols**

### **I.1.9.1 Teneurs en phénols totaux chez six espèces**

Comme la vitamine C et les protéines, la composition en polyphénols des six espèces a montré une grande variabilité entre espèces (**tableau 10**). L'espèce *A. perrieri* contient la plus faible teneur en polyphénols (329 mg/100 g MS), tandis que l'espèce *A. za* a la plus forte avec 1706 mg/100g MS. *A. digitata* et *A. madagascariensis* ont une teneur de 1084 et 1127 mg/100g MS, respectivement. Ces données permettent de les classer parmi les fruits riches en polyphénols. Scalbet *et al.*, (1990) notent que les polyphénols sont abondants dans les fruits tels que le raisin, la pomme et les cerises et que leurs teneurs peuvent atteindre 500 mg/100g MS. Cette teneur est très inférieure à celle de la pulpe de baobab voire trois fois moins si on la compare avec l'espèce *A.za* avec sa teneur de 1706 mg/100g. Scalbert & Williamson, (2000) ont rapporté que les polyphénols participent à la prévention des maladies cardio-vasculaires. La pulpe du baobab du fait de sa composition en polyphénols pourrait être conseillée auprès des consommateurs.

### **I.1.9.2 Identification des composés phénoliques**

Les composés phénoliques ont fait l'objet d'une tentative de caractérisation dans les extraits des espèces étudiées. Nos résultats montrent des teneurs très variables en composés phénoliques. Ils peuvent se classer globalement en trois types de composés phénoliques: acides benzoïques, procyanidines et flavonoïdes. (**tableau 11**).



**Tableau 11 : Profils des composés phénoliques identifiés dans la pulpe de baobabs.**

Caractéristiques				Espèces				
				Africaine	malgaches			
				(mg/100g)	(mg/100g)			
RT	M/Z	UV	Composés	<i>A. digitata</i>	<i>A. rubrostipa</i>	<i>A. perrieri</i>	<i>A. grandidieri</i>	<i>A. za</i>
15,13	153	138-153-219-299	Acide protocatéchique	127,72	4,40	54,29	nd	36,63
22,7	325	284-303-308-315	Acide fertarique	22,75	8,63	10,58	72,76	9,87
23,54	865	280	Procyanidine trimère	nd	2,40	2,23	1,96	nd
23,85	577	277-281-303-313	Procyanidine B2	nd	3,07	2,89	6,53	5,74
24,41	197	215-277-282	Acide syringique	22,75	36,91	33,54	nd	35,23
27	427	279	Procyanidine dimère	nd	nd	nd	9,41	3,07
27,64	576	255-298	Procyanidine B3	nd	nd	nd	nd	6,86
28,03	609		Isomère rutine	nd	4,88	nd	nd	nd
30,2	163	212-227-290-310	Acide coumarique	9,46	22,58	20,35	3,53	22,78
33,21	463	256-264-279	Isoquercetine	4,88	6,02	nd	10,80	nd

Dans cette étude, nous observons une très grande variabilité dans la teneur en composés phénoliques entre les différentes espèces de baobabs. *A. digitata* contient la plus forte teneur en acide protocathéchique 127,72 mg/100g Elle est suivie par *A. pierreri* qui n'en contient que 54,29 mg/100g (**tableau 11**). Au contraire, *A. grandidieri* est l'espèce qui contient le plus d'acide fertarique. Par ailleurs, les espèces malgaches contiennent les plusieurs classes de composés à savoir les acides phénols, les procyanidines, les flavonoïdes. Toutefois, des variations de teneurs importantes existent entre les espèces malgaches. Cette étude confirme, d'une part, l'importante variation des teneurs globales en composés phénoliques de diverses espèces de baobabs analysées et d'autre part, met en évidence une répartition très différente des trois classes. Les types et les concentrations de ces composés dépendent d'un certain nombre de facteurs: le stade de maturation, le sol, les conditions climatiques (Bautista *et al.*, 2007). En outre, chaque variété de baobab présente une composition différente en composés phénoliques. Ainsi, le suivi de cette évolution au cours de la maturation du baobab serait très informatif et utile.

#### **I.1.10 Pouvoir antioxydant**

Les résultats du pouvoir antioxydant des échantillons d'espèces de baobab malgaches et d'*A. digitata* par la méthode ORAC sont présentés dans le **tableau 10**. Le pouvoir antioxydant de la pulpe du fruit des six espèces de baobab est compris entre 108 à 159  $\mu\text{mol trolox}\cdot\text{g}^{-1}$ . Toutes les espèces malgaches ont révélé un pouvoir antioxydant supérieur à celui observé chez l'espèce *A. digitata*. Nos résultats montrent que même l'espèce de baobab ayant le plus faible pouvoir antioxydant présente un pouvoir antioxydant supérieur à de nombreux fruits et légumes de grande consommation tels que l'orange (0,10  $\mu\text{moles TE}/\text{mg}$ ; Vertuani *et al.*, 2002), le kiwi (0,34  $\mu\text{moles TE}/\text{mg}$  ; Vertuani *et al.*, 2002), les fraises (15  $\mu\text{moles TE}/\text{mg}$ ; Agrobio, 2007), les lentilles (81  $\mu\text{mol TE}\cdot/\text{g}$ ), les raisins (87  $\mu\text{mol TE}\cdot/\text{g}$ ), les mûres (72  $\mu\text{mol TE}\cdot/\text{g}$ ) et les tomates (67  $\mu\text{mol TE}\cdot/\text{g}$ ). Tous étant reconnus comme riches en antioxydants (Yuan *et al.*, 2007).

#### **I.1.11 Sels minéraux et métaux**

La composition minérale des jus et fruits constitue l'un des critères de choix des consommateurs. La teneur en minéraux de la pulpe des six espèces étudiées a été déterminée (**tableau 12**). Parmi les minéraux analysés (Na, P, K, Ca, Mg), comme dans la plupart des produits végétaux, le composé minéral qui prédomine est le potassium avec une teneur

maximum de 3050 mg/100g MS pour *A. za*. Il est important de noter que la teneur en K chez toutes les espèces est supérieure à 1500 mg/100g MS. Les teneurs en P et en Na, varient de 57 mg/100g à 116 mg/100g MS et de 2,3 à 43,4 mg/100g respectivement. Le Ca et le Mg qui sont des éléments importants pour la nutrition humaine ont révélé des teneurs assez intéressantes variant de 302 mg/100g MS à 658 mg/100g MS pour le Ca et de 276 mg/100g MS à 255 mg/100g MS pour le Mg. Les teneurs en minéraux rapportées pour *A. digitata*, montrent cependant une grande variabilité. En effet, les valeurs du magnésium varient de 100,5 mg/100g MS à 300 mg/100 g MS (Osman, 2004; Sena *et al.*, 1998) avec une valeur moyenne de 195,1 mg/100g MS. Pour le potassium, la moyenne est de 1793,8 mg/100 g MS et il varie de 726 mg/100 g MS à 3272 mg/100 g de poids sec (Sena *et al.*, 1998). Les valeurs indiquées pour la teneur en calcium sont généralement comprises entre 390 mg/100 g (Prentice *et al.*, 1993) et 700,9 mg/100 g MS (Nour *et al.*, 1980). Cependant, une valeur très faible de 3,0 mg/100 g MS a également été rapportée par Obizoba & Amaechi (1993b). La teneur en sodium rapportée varie de 0,8 (Sena *et al.*, 1998) à 31,2 mg/100 g MS (Osman, 2004) avec une moyenne de 14,8 mg/100 g MS. Le phosphore varie largement de 0,04 mg/100 g MS (Obizoba & Amaechi, 1993b) à 425 mg/100 g MS (Sena *et al.*, 1998). La teneur en zinc rapportée est généralement faible, allant de 0,5 (Lockett *et al.*, 2000) à 3,2 mg/100 g MS (Sena *et al.*, 1998) avec une moyenne de 1,7 mg/100 g de poids sec. La teneur en fer varie fortement, passant de 1,1 mg/100 g (Arnold *et al.*, 1985) à 10,4 mg/100 g (Osman, 2004). Au regard de ces données, les espèces malgaches sont riches en minéraux en comparaison d'*A. digitata*.

**Tableau 12 : Composition minérale de la pulpe de six espèces de baobab originaires de Madagascar et celui de Côte d'Ivoire.**

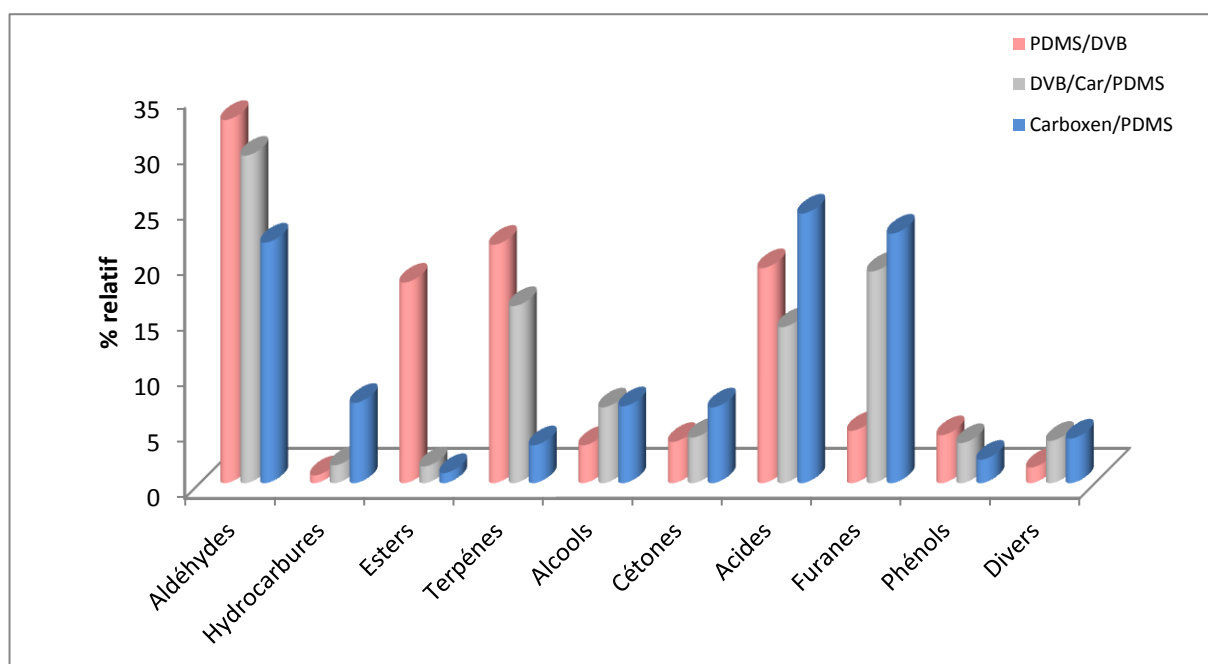
Minéraux (mg/100g)	Espèces Malgaches					Espèces Africaines		
	<i>A. za</i> [9]	<i>A. perrieri</i> [21]	<i>A. grandidieri</i> [14]	<i>A. rubrostipa</i> [14]	<i>A.</i> <i>madagascariensis</i>	<i>A. digitata</i> [9]	Littérature mg/100g	Références
<b>P</b>	57 (0,02)	116 (0,02)	72 (0,01)	94 (0,01)	80	80 (0,02)	106	(Obizoba and Amaechi. 1993; Saka <i>et al.</i> 1994; Glew <i>et al.</i> 1997; Sena <i>et al.</i> 1998)
<b>K</b>	3050 (0,39)	2728 (0,55)	2221 (0,54)	2735 (0,6)	2252	1528 (0,6)	1794	Saka and Msonthi. 1994; Sena <i>et al.</i> , 1998; Osman. 2004)
<b>Ca</b>	464 (0,06)	658 (0,14)	356 (0,03)	313 (0,03)	372	345 (0,13)	302	; Sena <i>et al.</i> 1998 ;Lockett <i>et al.</i> 2000; Osman. 2004)
<b>Mg</b>	255 (0,03)	224 (0,03)	176 (0,03)	198 (0,02)	225	199 (0,02)	195	Glew <i>et al.</i> 1997;Sena <i>et al.</i> 1998; Lockett <i>et al.</i> 2000; Osman. 2004)
<b>Na</b>	9 (0,0)	5,9 (0,02)	8,9 (0,02)	43,4 (0,02)	5,7	2,3 (0,02)	14,8	(Glew <i>et al.</i> ,1997; Sena <i>et al.</i> , 1998; Osman.2004)
<b>Cu</b>	0,7 (0,07)	0,33 (0,21)	0,8 (0,48)	0,5 (0,34)	0,93	1,51 (,51)	0,9	(Obizoba and Amaechi. 1993; Sena <i>etal.</i> 1998; Lockett <i>et al.</i> 2000; Osman. 2004)
<b>Fe</b>	10,52 (0,0)	9,2 (5,6)	16,6 (6,0)	10,6 (3,1)	4,94	10,03 (5,1)	4,3	Arnold <i>et al.</i> 1985; Obizoba <i>et al.</i> 1993;
<b>Mn</b>	1,42 (0,25)	0,70 (1)	1,4 (0,66)	2,2 (0,92)	0,6	2,12 (0,70)	0,7	Saka and Msonthi.1994; Glew <i>et al.</i> 1997; Sena <i>et al.</i> , 1998;Lockett <i>et al.</i> , 2000; Osman.2004)

### **I.1.12 Etude des composés d'arôme de la pulpe de baobab**

L'objectif de cette partie du travail a été d'identifier les composés d'arôme de la pulpe de baobab. Pour ce faire, une optimisation des conditions d'extraction SPME a été réalisée. La première partie a porté sur la sélection de la fibre SPME. Ensuite, l'effet de deux options d'humification de la pulpe de baobab pour l'extraction des composés a été étudié.

#### **I.1.12.1 Choix d'une fibre SPME pour l'extraction des composés volatils**

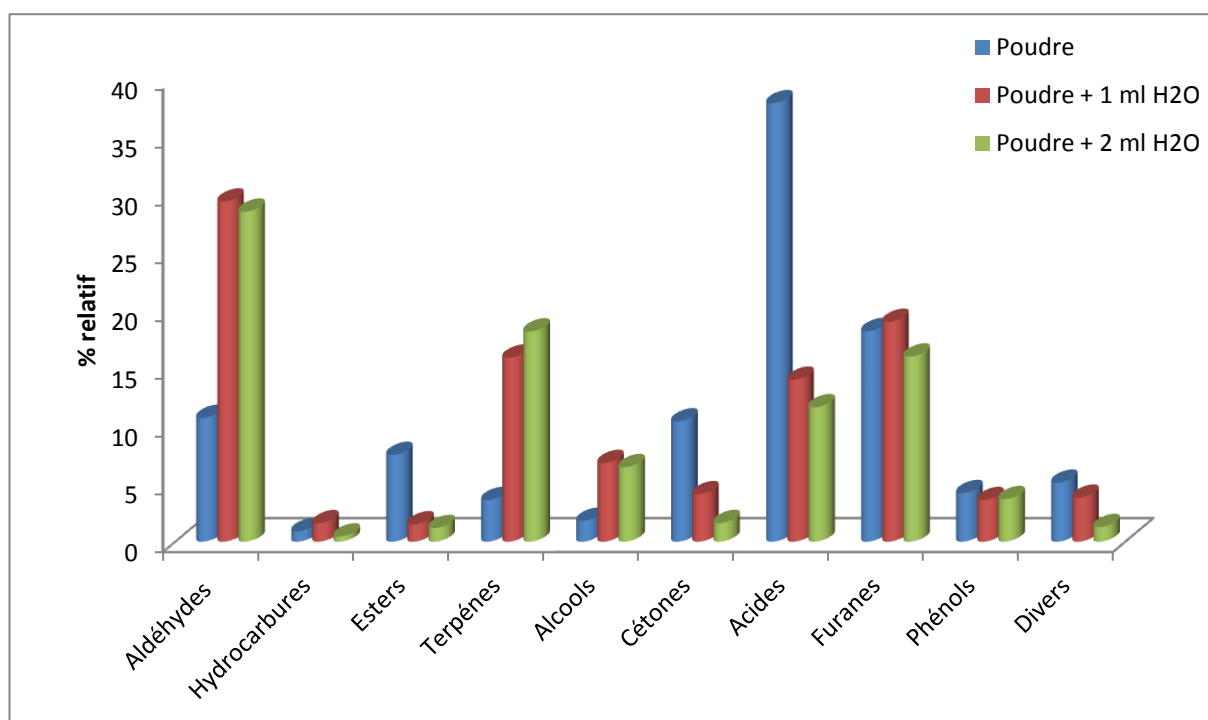
Pour réaliser l'analyse des composés volatils, la méthode SPME en espace de tête a été utilisée. Le pouvoir de rétention de trois fibres (carboxen/PDMS (75µm), PDMS/DVB (85µm), DVB/CAR/PDMS (50/30 µm)) sur les différentes familles chimiques de composés d'arôme de la pulpe de baobab de l'espèce *A. digitata* a été analysée (**figure 33**). La fibre PDMS/DVB s'avère plus spécifique pour la rétention des esters que les deux autres fibres. Elle a également une meilleure rétention des aldéhydes et terpènes. La fibre Carboxen/PDMS, quant à elle, retient de manière plus spécifique les hydrocarbures et les cétones que les deux autres. Les acides et les furanes sont également légèrement mieux retenus par cette fibre. La fibre DVB/CAR/PDMS n'est pas spécifique d'une famille de composés volatils mais elle possède une bonne rétention de l'ensemble des familles chimiques. En effet, elle s'avère retenir les terpènes peu retenus par la fibre Carboxen/PDMS et fortement retenus par la fibre DVB/CAR/PDMS. De la même manière, elle retient les furanes qui sont peu retenus par la fibre DVB/CAR/PDMS et fortement retenus par la fibre Carboxen/PDMS. La rétention de l'ensemble des autres familles chimiques par cette fibre s'avèrent être intermédiaire entre la rétention des deux autres fibres. La fibre DVB/CAR/PDMS a donc été choisie pour sa capacité de rétention de l'ensemble des familles chimiques permettant d'avoir la représentation la plus globale des composés d'arôme présents dans la pulpe.



**Figure 33 : Répartition par familles des composés volatils extraits par trois fibres SPME de la pulpe de baobab *A. Digitata*.**

#### **I.1.12.2 Mise au point des conditions d'extraction des composés volatils**

Afin de déterminer les meilleures conditions d'extraction des composés d'arômes de la pulpe de baobab, trois degrés d'humidification ont été appliqués sur les échantillons de pulpe. L'extraction des composés d'arômes a été réalisée sans ajout d'eau à la poudre, avec un ajout de 1 ml d'eau ultra pure ou avec un ajout de 2 ml d'eau (**figure 34**). Sans ajout d'eau à la poudre de baobab, l'extraction des esters et des acides est très importante tandis que l'extraction des aldéhydes, des terpènes et des alcools est moins importante qu'avec des extractions avec ajout d'eau. L'extraction plus importante sans ajout d'eau pour les acides provient principalement de l'extraction de l'acide acétique. Pour les autres familles chimiques (hydrocarbures, furanes et phénols), les conditions d'extraction, avec ou sans eau, influent peu sur les concentrations des composés volatils extraits. La quantité d'eau ajoutée à la poudre n'influence pas de manière significative l'extraction des différentes familles de composés. Les conditions d'extraction que nous avons sélectionnées pour réaliser l'étude des composés d'arôme sont donc de travailler avec la poudre brute à laquelle 1 ml d'eau est ajouté.



**Figure 34 : Répartition par familles des composés volatils extraits de la pulpe de baobab *A. Digitata* dans trois conditions d'extraction.**

### **1.1.12.3 Identification des composés d'arôme de la pulpe de baobab**

Après le choix de la fibre et la mise au point des paramètres d'extraction décrits ci-dessus, l'identification des composés d'arôme présents dans la pulpe de baobab *A. digitata* a été réalisée. Dix familles chimiques de composés ont été identifiées (aldéhydes, terpènes, phénols, alcools, acides, hydrocarbures, alcanes, cétones, furanes, esters et autres; **tableau 20**). Au total, 55 composés volatils ont été caractérisés dans la pulpe. La famille des aldéhydes est la plus importante qualitativement et quantitativement. En effet, 13 aldéhydes ont été identifiés ; ils représentent 35% de la concentration totale des composés d'arôme. Le safranal est l'aldéhyde majoritaire, il possède une note organoleptique herbacée, verte qui pourrait être reliée à l'intensité végétale de la poudre. Les autres aldéhydes importants sont les aldéhydes linéaires de pentanal à décanal, leurs notes organoleptiques sont principalement gras, fruité et vert. Ils pourraient être à l'origine des notes végétales et fruitées de la pulpe de baobab. Les terpènes représentent la deuxième famille chimique la plus importante. Parmi ces composés, le p-cymène est le plus abondant, suivi du  $\delta$ -eudesmol et du  $\delta$   $\alpha$ -terpinène. Ces composés d'arôme possèdent des notes principalement fruitée puis végétale qui peuvent participer à l'intensité fruitée et dans une moindre mesure à la note végétale de la pulpe. Six

phénols ont également été identifiés dans la pulpe, ils peuvent être à l'origine des notes animales ou pharmaceutiques perçues. Les cinq alcools et les trois esters détectés pourraient participer avec les terpènes et les aldéhydes aux notes fruitées ressenties. Parmi les autres familles bien que qualitativement peu représentées, certaines comme les acides et les furanes représentent quantitativement des familles importantes de part la présence d'un ou deux composés. L'acide nonanoïque et l'acide acétique doivent être en partie responsables des notes acides perçues dans la pulpe. Le furfural et la 2-acétylfuran, également en quantités importantes, participent sans aucun doute aux notes grillés perçues dans la pulpe.



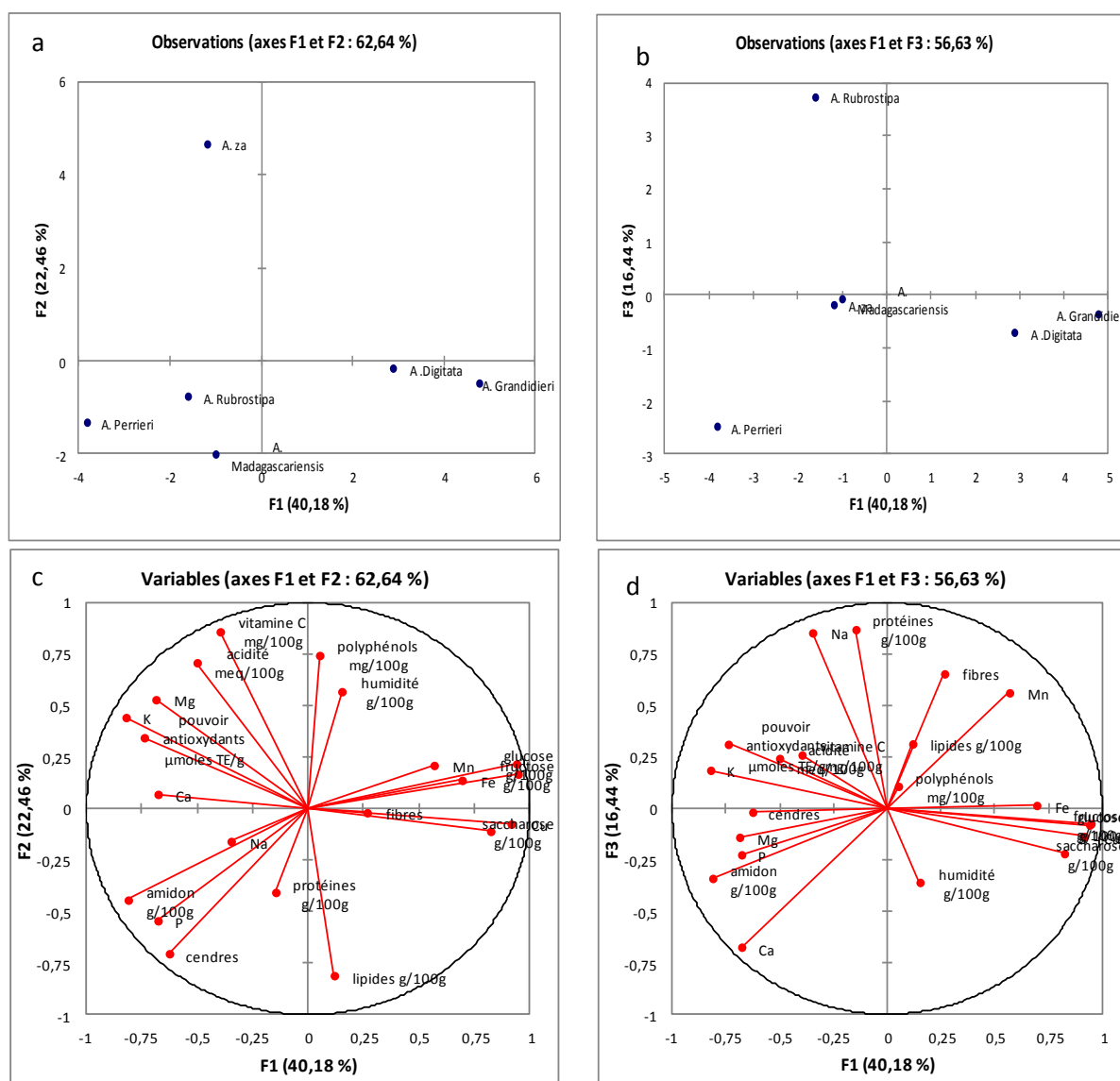
**Tableau 20 : Composés volatils identifiés dans la pulpe de baobab *A. digitata*.**

<b>Aldéhydes</b>	<b>Tr (min)</b>	<b>% de rétention</b>	<b>Odeurs</b>
pentanal	4,1	2,7 ± 2,3	âtre/noix
hexanal	6,0	2,1 ± 0,3	vert/herbe
heptanal	9,0	1,7±0	fruité/gras
<i>trans</i> -hex-2-ènal	10,0	0,8±0,2	pomme/amande
octanal	12,5	4,0±0,2	fruité/miel
nonanal	16,8	3,8±0,6	fruité
<i>trans, trans</i> -2,4-heptadienal	19,4	1±0,1	sucré/agrume/ épicé
decanal	20,9	1,0±0,1	floral/citron/gras
benzaldéhyde	21,3	1,6±0,1	amende
safranale	26,2	12,0±0,9	herbe
<i>trans</i> -déc-2-ènal	26,4	0,6±0	orange/gras
p-menth-1-en-7-al	28,9	2,7±0,3	floral/réglisse
1-H-pyrrole-2-carbaldéhyde	39,2	0,4±0	moisi/café
<b>Somme</b>		<b>34,4</b>	
<b>Hydrocarbures</b>			
décane	3,1	1,6±0,3	gasol
éthyl benzène	7,1	0,4±0,1	
p-xylène	7,5	0,5±0,1	
1,3,5-triméthylbenzène	12,2	0,3±0,1	
1,2,3,4-tétraméthylbenzène	20,1	0,4±0,1	
<b>Somme</b>		<b>3,2</b>	
<b>Esters</b>			
méthyl hexanoate	9,1	0,9±0,1	ananas/éther
éthyl nonanoate	22,5	0,2±0	fruité/gras
méthyl décanoate	24,8	0,4±0,1	fruité
<b>Somme</b>		<b>1,5</b>	
<b>Terpènes</b>			
Δ-3-carène	7,8	0,5±0,2	citron
α-phéllandrène	8,2	0,3±0,1	frais
α-terpinène	8,8	1,3±0,3	citron
sabinène	9,6	0,5±0,1	boisé
limonène	9,3	0,6±0,2	fruit/agrume
d-terpinène	10,5	1,3±0,2	
p-cymène	11,5	6,9±1	agrume/boisé/ épicé
<i>cis</i> -α-bisabolène	29,6	0,2±0,1	balsamique/épicé
Δ-cardinène	30,5	0,4±0,1	thym
δ-eudesmol	41,9	3±0,2	boisé
δ-selinène	44,9	0,9±0,1	
<b>Somme</b>		<b>15,9</b>	
<b>Alcools</b>			

pentan-1-ol	11,4	1,3±0,1	piquant/gras/vin/ fermenté
<i>trans</i> -oxyde de linalol	19,9	0,7	herbe/floral
octan-1-ol	23,5	3,6	chimique
terpinen-4-ol	24,9	0,8	poivre/boisé/ moisi
p-cymen-8-ol	33,8	0,4	moisi
<b>Somme</b>		<b>6,8</b>	
<b>Cétones</b>			
acétone	2,6	2,6	chimique
6-méthyl-hept-5-èn-2-one	14,5	0,6	citron vert/ citronnelle/pomme
géranyl acétone	34,0	0,9	magnolia
<b>Somme</b>		<b>4,1</b>	
<b>Acides</b>			
acide acétique	18,8	5,9	aigre
acide 2-éthyl-hexanoïque + autre	37,5	1,1	
acide octanoïque	41,0	0,4	désagréable/gras/ sueur
acide nonanoïque	44,1	6,6	fromage
<b>Somme</b>		<b>14,0</b>	
<b>Furanes</b>			
furfural	19,2	11,3	amande
2-acétylfuran	20,8	3,5	balsamique
5-hydroxyméthylfurfural	49,2	0,2	gras/brûlé/moisi
<b>Somme</b>		<b>15,0</b>	
<b>Phénols</b>			
gauaiacol	33,9	1,5	brûlé
p-créosol	37,1	0,4	
p-éthylguaïacol	39,5	0,3	boisé/épicé/clou de girofle/vanille
p-crésol	41,2	0,8	médicament/ phénolique
m-crésol	41,5	0,4	médicament/phénoli que/boisé/cuir
m-éthyl phénol	44,0	0,2	moisi
<b>Somme</b>		<b>3,6</b>	
<b>Autres</b>			
o-éthyl toluène	10,1	0,5	
benzyl cyanide	35,9	0,7	
<b>Somme</b>		<b>1,2</b>	

### I.1.13 Différenciation des espèces de baobab en relation avec leur composition

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée sur l'ensemble des données biochimiques mesurées sur les six espèces (**figure 19**). Les trois premières composantes principales expliquent 40,2, 22,5 et 16,4% respectivement de la variance totale. La représentation des espèces sur les plans 1-2 et 1-3 est donnée figure 19 a et b, ainsi que les cercles de corrélation sur ces mêmes plans (figure 19 c et d). Sur le plan 1-2, l'espèce *A. za* est très nettement séparée des autres. *A. digitata* et *A. grandidieri* forment un second groupe distinct des autres espèces. Un troisième groupe est constitué des trois espèces malgaches suivantes *A. rubrostipa*, *A. perrieri*, *A. madagascariensis*. Les espèces de ce groupe se séparent bien sur la représentation graphique du plan 1-3. Les variables corrélées (figure 19 c et d) à l'axe 1 sont le glucose, le fructose, le saccharose et le Ca positivement et le K, amidon, et la capacité antioxydante négativement. Les variables vitamine C et polyphénols sont corrélées positivement à l'axe 2 et les lipides et les cendres négativement. Les variables protéines et Na sont corrélées positivement à l'axe 3 et le Ca négativement. L'espèce *A. za* est donc caractérisée par une importante teneur en vitamine C et une faible teneur en matière grasse. Les espèces *A. digitata* et *A. grandidieri* sont caractérisées par des faibles teneurs en sucre (glucose, fructose, saccharose) et en Ca. Le troisième groupe (*A. rubrostipa*, *A. perrieri*, *A. madagascariensis*) est caractérisé par ses teneurs en amidon, cendres et lipides plus importantes que dans les autres espèces (plan 1-2). La teneur en protéines et Na est plus importante (1-3) pour *A. rubrostipa* alors que *A. Perrieri* est caractérisée par sa teneur en Ca. Les variations qui existent peuvent être liées d'une part aux espèces elles-mêmes (facteurs génétiques, (Assogbadjo *et al.*, 2006) et d'autre part au lieu d'habitat.



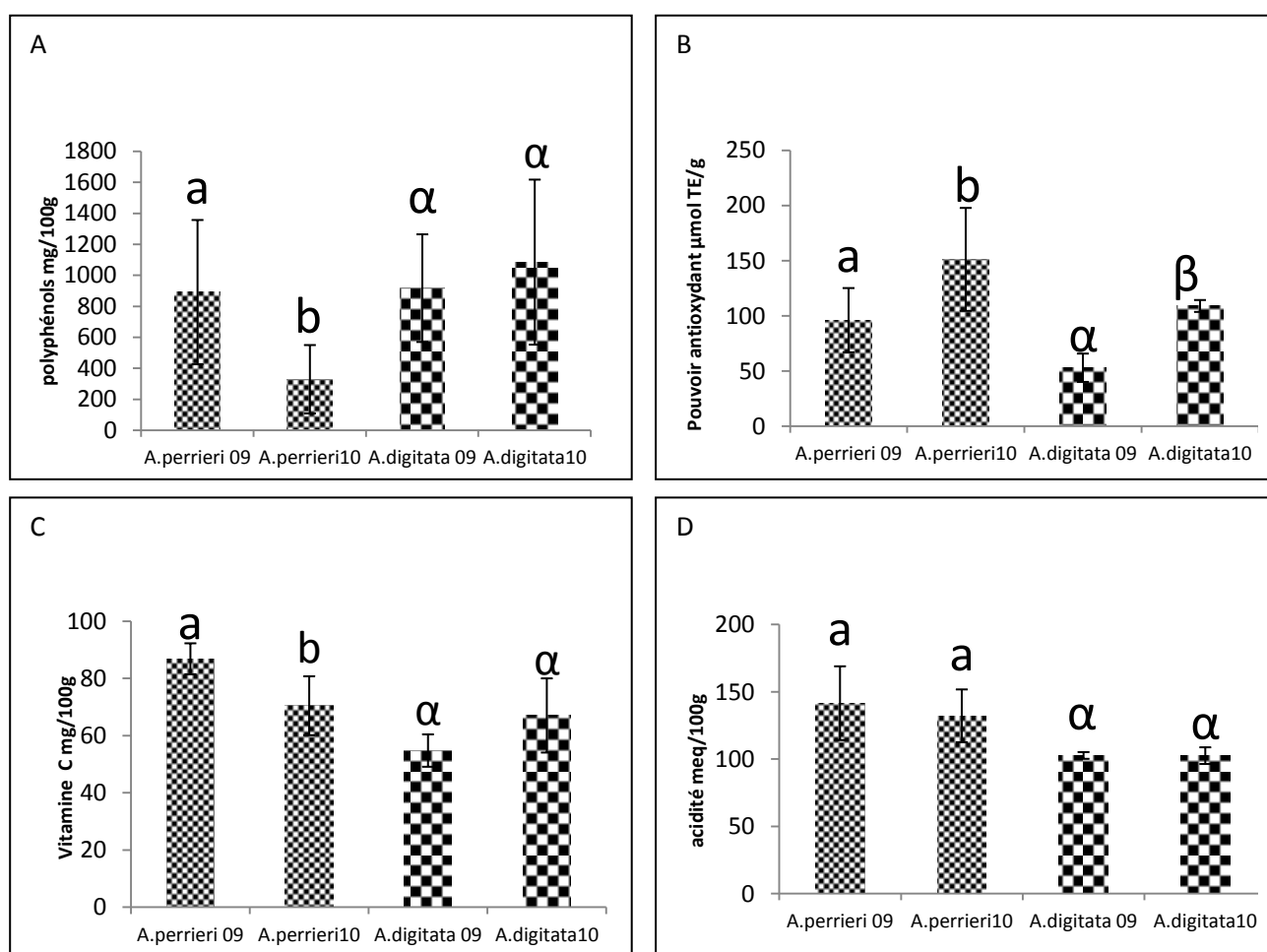
**Figure 19 : Représentation des espèces de baobab sur plan factoriel 1-2 (a) et 1-3 (b) de l'ACP en relation avec la composition biochimique de la pulpe et cercle des corrélations des variables (c et d).**

### I.1.14 Variabilité de la composition chimique de la pulpe de baobab due aux saisons

La variabilité de la composition en polyphénols, en vitamine C, de l'acidité et de la capacité antioxydante a été étudiée sur deux saisons (2009 et 2010) pour 2 espèces de baobabs (*A. perrieri* et *A. digitata*) (**figure 20**).

Pour l'espèce *A. digitata*, seul le pouvoir antioxydant est significativement différent en fonction de l'année d'étude. La variation annuelle est nettement plus prononcée chez *A.*

*perrieri* que chez *A. digitata*. D'une année à l'autre, une variation significative des teneurs en polyphénols, en vitamine C et du pouvoir antioxydant est observée. L'acidité ne subit pas de variations annuelles, contrairement au pouvoir antioxydant et ceux quelque soit l'espèce étudiée. Cependant, dans d'autres études, une certaine stabilité sur la teneur en vitamine C a été observée d'une année à l'autre (Scheuring *et al.*, 1999b; Sidibe *et al.*, 1996). Notre variabilité en vitamine C pour l'espèce *A. perrieri* pourrait être liée au type de sol, à la génétique ou au climat dans lequel les différents arbres se situent (Scheuring *et al.*, 1999).



**Figure 20 : Variabilité pour 2 espèces de baobabs (*A. perrieri* et *A. digitata*) des teneurs en polyphénols (A), de la capacité anti-oxydante (B), de la teneur en vitamine C (C) et de l'acidité (D) sur deux saisons (2009 et 2010).**

### I.1.15 Variabilité de la composition en macronutriments due aux zones

Afin de savoir si la zone géographique de collecte des échantillons avait un impact sur la composition de la pulpe de baobab, nous avons réalisé une analyse de la variance sur les teneurs en matières sèches, en protéines, en matières grasses, en vitamine C, en polyphénols, en pouvoir antioxydant, et en acidité de trois espèces. Les résultats de cette analyse statistique (**tableau 13**) ne nous ont pas permis de montrer une variation de ces teneurs en fonction du lieu de récolte. En effet, seule la teneur en polyphénols est significativement différente en fonction du lieu de récolte pour l'espèce *A. grandidieri*. Les différences significatives observées se trouvent au niveau des espèces comme par exemple pour la teneur en protéines ou en matière grasse comme nous l'avons précédemment décrit.

**Tableau 13 : Variabilité de la composition en macronutriments due aux zones des échantillons de pulpe de Madagascar et de Côte d'Ivoire.**

Espèces	Espèces malgaches					Espèce Africaine		
	<i>A. gandidieri</i>		<i>A. rubrostipa</i>			<i>A. digitata</i>		
Zones	Andranomena	Kirindy	Antsahaloan	Mangily	Salary	Ferké	Bouaké	Yamoussoukro
M S g/100g	85,86 <b>ab</b>	87,69 <b>ab</b>	87,32 <b>ab</b>	88,91 <b>a</b>	88,40 <b>a</b>	84,99 <b>ab</b>	83,81 <b>b</b>	83,52 <b>b</b>
acidité meq/100g	102 <b>b</b>	126,02 <b>ab</b>	131,76 <b>ab</b>	145,29 <b>a</b>	147,23 <b>a</b>	105,22 <b>ab</b>	97,69 <b>b</b>	105,23 <b>ab</b>
Protéines g/100g	3,84 <b>b</b>	3,02 <b>b</b>	6,74 <b>a</b>	6,66 <b>a</b>	5,94 <b>a</b>	3,11 <b>b</b>	2,7 <b>b</b>	2,26 <b>b</b>
M G g/100g	1,58 <b>a</b>	1,82 <b>a</b>	1,47 <b>ab</b>	1,46 <b>ab</b>	1,82 <b>a</b>	0,47 <b>b</b>	0,37 <b>b</b>	0,46 <b>b</b>
Vit C mg/100g	62,16 <b>bc</b>	57,68 <b>c</b>	95,12 <b>a</b>	86,89 <b>ab</b>	93,15 <b>a</b>	53,43 <b>c</b>	58,25 <b>bc</b>	71,20 <b>abc</b>
Polyphénols g/100g	176 <b>c</b>	1165 <b>a</b>	403 <b>bc</b>	1000 <b>ab</b>	771 <b>ab</b>	546 <b>abc</b>	1050 <b>ab</b>	1405 <b>a</b>
P.A µmoles TE/g	96 <b>b</b>	141,79 <b>ab</b>	152,72 <b>ab</b>	104,11 <b>ab</b>	186,03 <b>a</b>	73,71 <b>b</b>	80,22 <b>b</b>	89,03 <b>b</b>

### **I.1.16 Relation entre la composition des pulpes et l'apport journalier recommandé**

Pour les enfants de 4 à 8 ans, la quantité recommandée par individu (Recommended Daily for individuals RDI, 2006) est un apport quotidien de 0,025 g, 0,8 g, 0,01 g, 19 g en vitamine C, en Ca, en Fe, et en protéines, respectivement (**tableau 14**). Ainsi la consommation de 40 g de pulpe de baobab la moins riche (*A. digitata*) et la plus riche (*A. za*) par un enfant (4-8 ans) couvrirait 96,3% et 220,5% de l'apport journalier recommandé en vitamine C. Pour le calcium, en fonction des espèces et avec ces 40 g de pulpes, 17 à 33% de l'apport quotidien serait couvert, de 5 à 13% pour les protéines et de 20 à 81% pour le fer.

Des quantités de 0,085 g, 1 g, 0,027 g, 71 g en vitamine C, en Ca, en Fe, et en protéines respectivement sont également recommandées pour les femmes enceintes de 19-30 ans. Pour ces femmes, la consommation de 40 g de pulpe de Baobab couvrirait 28 à 65% de l'apport journalier en vitamine C en fonction des espèces considérées (**tableau 13**). Pour le calcium, en fonction des espèces et avec ces 40 g de pulpes, 14 à 26% de l'apport quotidien serait couvert, de 1 à 4% pour les protéines et de 7 à 30% pour le fer.

Concernant *A. digitata*, compte tenu de la plus haute des valeurs rapportée par Chadaré *et al*, (2009), la consommation de 40 g de pulpe de baobab est suffisante pour couvrir 41,5% de la RDI pour le fer; 25,4% pour le zinc, et 35% pour le calcium. L'apport énergétique de la pulpe est assez faible pour les enfants.

Une tendance similaire est observée pour les femmes enceintes (19-30 ans). La consommation de 40 g de pulpe par une femme enceinte apporterait de 84 à 141% de son RDI pour la vitamine C, considérant la plus basse et la plus haute teneur en vitamine C de la pulpe rapportées. Par conséquent, il ne fait aucun doute que la pulpe de baobab est une source importante de vitamine C. En outre, une consommation de 100 g de pulpe couvrirait 26 à 50% de la RDI en glucides pour ces femmes. La couverture en fer, zinc et calcium s'avèrerait également importante. La consommation de 60 g et 100 g couvrirait 23,1% et 38,4% de la RDI pour le fer; 17,3% et 28,7% de la RDI pour le zinc; 42,1% et 70,1% de la RDI pour le calcium; 30,2% et 50,3% de la RDI pour les glucides, respectivement. Cependant comme pour les enfants, l'énergie apportée s'avère faible.

**Tableau 14 : Apport journalier recommandé (AJR) pour les enfants (4-8 ans) et les femmes enceintes (19-30 ans).**

			<i>A.za</i> (40g)	<i>A. perrieri</i> (40g)	<i>A. grandidieri</i> (40g)	<i>A. rubrostipa</i> (40g)	<i>A. madagascariensis</i> (40g)	<i>A. digitata</i> (40g )
Macro-nutriments	sujet	RDI : Besoin / jour	(%) apport /j	(%)apport /j	(%)apport /j	(%)apport /j	(%)apport /j	(%)apport /j
Vitamine C	enfant 4-8 ans	0.025	<b>220</b>	<b>113</b>	<b>96</b>	<b>148</b>	<b>122</b>	<b>107</b>
	femme 19-30ans	0.085	<b>65</b>	<b>33</b>	<b>28</b>	<b>43</b>	<b>36</b>	<b>32</b>
Ca	enfant 4-8 ans	0.8	<b>23</b>	<b>33</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>19</b>	<b>17</b>
	femme 19-30ans	1	<b>18</b>	<b>26</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>14</b>
Protéines	enfant 4-8 ans	19	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>6</b>
	femme 19-30ans	71	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
Fe	enfant 4-8 ans	0.01	<b>42</b>	<b>37</b>	<b>81</b>	<b>42</b>	<b>20</b>	<b>40</b>
	femme 19-30ans	0.027	<b>16</b>	<b>14</b>	<b>30</b>	<b>16</b>	<b>7</b>	<b>15</b>

### I.1.17 Conclusion partielle

Au cours de cette étude, nous avons utilisé les techniques classiques d'analyse biochimique pour caractériser les fruits du baobab. Nous montrons que les pulpes de baobabs africains et malgaches sont riches en composés phénoliques, vitamine C et en minéraux et que les valeurs trouvées sont supérieures à de nombreux fruits de grande consommation. Nos résultats indiquent que le pouvoir antioxydant de la pulpe des baobabs tant africains que malgaches est supérieur aux fruits de grande consommation et que la pulpe est quantitativement et qualitativement nutritive pour satisfaire les exigences commerciales.

Si une valeur ajoutée était donnée à la pulpe en améliorant sa gestion, sa qualité et sa stabilité au cours du stockage en utilisant des méthodes de traitement adéquates, cela pourrait contribuer à accroître son intérêt. Cela permettrait également de conduire à une meilleure organisation de cette chaîne alimentaire dans les pays en développement où l'arbre existe et où sa nourriture est bien appréciée. À l'heure actuelle, la préservation de la pulpe, malgré



toute son importance, n'est pas bien contrôlée par la population et conduit à des pertes indésirables. La poursuite des études sur ces points est importante et permettra de surmonter les problèmes de la stabilité de la pulpe pour prolonger sa durée de conservation tout en préservant sa valeur nutritive et sensorielle. Des études de biodisponibilité seront également nécessaires pour une meilleure appréciation de la contribution de la pulpe de baobab à la santé de l'homme.

## ***Chapitre II***

### ***II.1 Procédés de fabrication du nectar de Baobab***

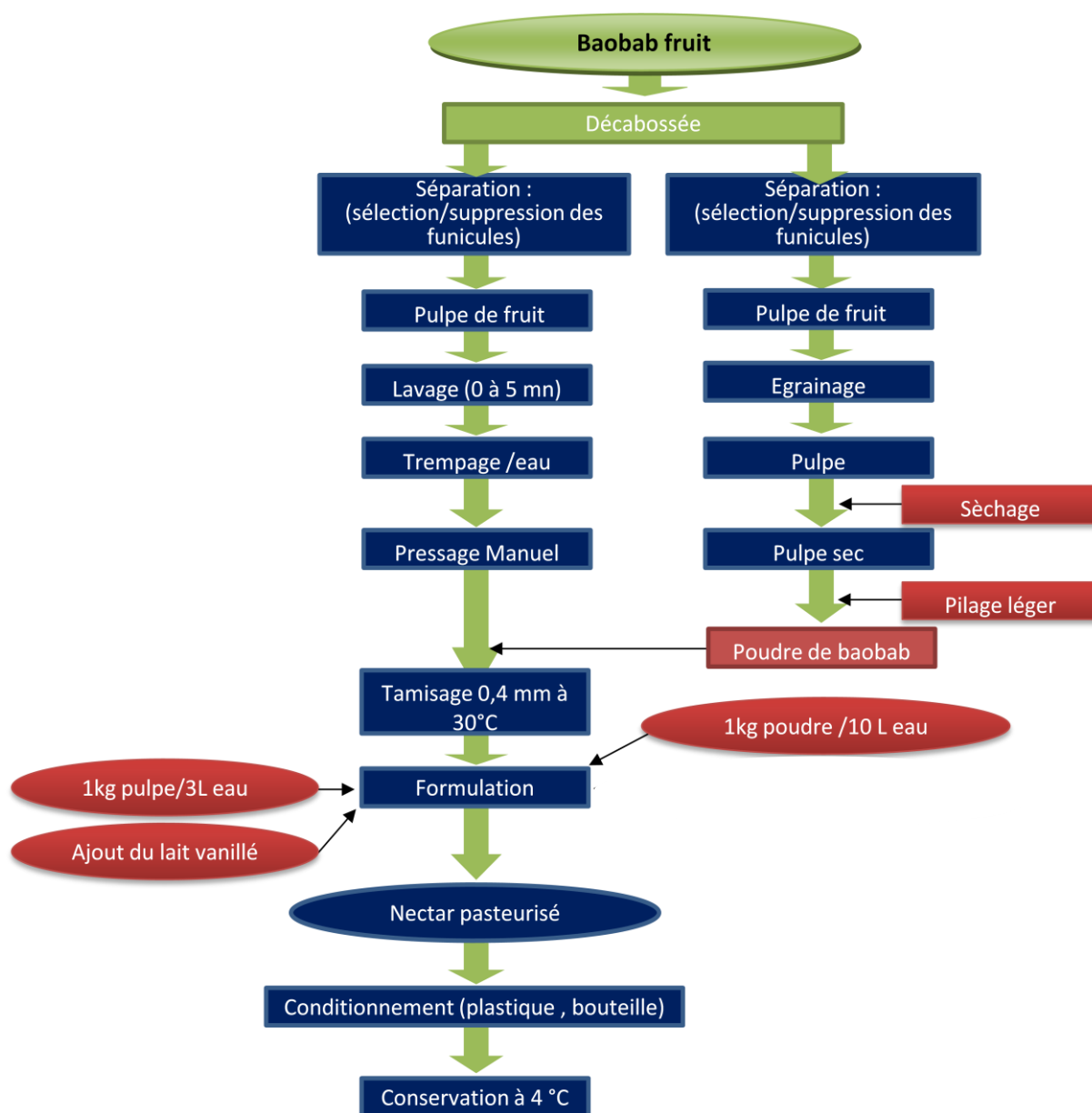
En Afrique, la consommation de plus en plus accrue des aliments de rue en général et de boissons fraîches en particulier, conduit la population à vouloir avoir des aliments sans, danger et propre à la consommation. Actuellement, les aliments vendus sur la voie publique constituent la source la plus accessible de nourriture. Ils sont bon marché, variés et disponibles partout. Cependant, ils ont l'inconvénient de présenter des risques d'intoxications alimentaires, par suite de leur contamination microbienne. C'est dans ce contexte que notre étude s'inscrit afin d'améliorer la qualité organoleptique et bactériologique des aliments vendus sur la voie publique en Afrique. Ce chapitre abordera les aspects liés à la transformation de la pulpe du fruit de baobab, à la stabilisation de la boisson après pasteurisation et aux modifications microbiologiques et nutritionnelles qui interviennent pendant le stockage. Nous avons réalisée cette étude sur de la pulpe d'*A. digitata*, seule pulpe que nous avons pu obtenir en quantité importante.

### ***II.2 Préparation et transformation du nectar de la pulpe de baobab***

Nous avons choisis de transformer la pulpe en modifiant la méthode traditionnelle décrite dans la partie gauche de la figure 21. Nous avons éliminé l'étape de lavage et de trempage de la pulpe utilisée traditionnellement. Nous n'avons pas utilisé pour obtenir de la poudre de baobab. Les différentes étapes de transformation que nous avons réalisées sont décrites dans la voie de droite de la figure 21.

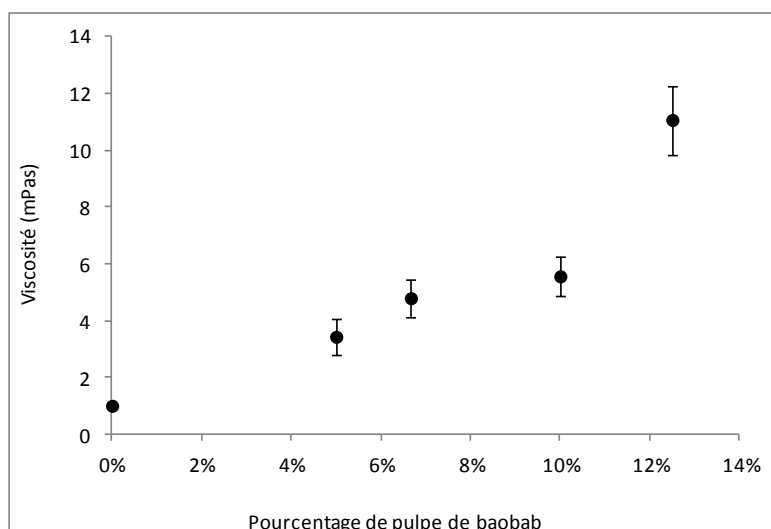
Afin d'obtenir un nectar suffisamment liquide, nous avons travaillé sur la quantité d'eau à ajouter à la pulpe lors de la fabrication du nectar de la pulpe du baobab. Quatre préparations aux concentrations, 5,00%, 6,67%, 10%, et 12,5% en pulpe ont été préparées. La viscosité des jus a ensuite été déterminée à 35°C (figure 22). Il a été constaté que le jus se comporte comme un liquide newtonien. La courbe de la viscosité en fonction des différentes concentrations révèle que le ratio de 10% de pulpe dans l'eau présente une viscosité qui est la plus proche en valeur de celle des autres jus de fruits, celle-ci se situant entre 4 et 6 mPas, pour ce qui concerne le jus de mangue. A cette dilution, la viscosité du nectar de la pulpe de baobab est similaire à celle du jus de mangue et supérieure à celle du jus d'orange et du jus de fruit de la passion qui varie entre 2 et 5 mPs, (Friend, 1979). Le nectar de baobab préparé au

ratio de 10% a été fort apprécié, lors du test de dégustation au laboratoire avec une note de 9/10 par rapport aux autres concentrations.



**Figure 21 : Diagramme de transformation de la pulpe de baobab.**

En conséquence, nous avons choisi de fabriquer le jus de baobab en utilisant un ratio baobab/eau (1 kg /10 L à 45°C). La boisson obtenue est épaisse et acide avec un pH de 3,3. Le nectar obtenu après filtration est conditionné dans des bouteilles de 250 mL pour ensuite réaliser les essais de pasteurisation.



**Figure 22 : Evolution de la viscosité en fonction de la concentration du jus de baobab.**

### ***II.3 Choix d'un barème de pasteurisation***

Pour choisir un couple temps/température pour la pasteurisation, une étude préliminaire a été faite. Il s'agissait de trouver le couple temps/température convenable pour détruire les microorganismes pathogènes ou responsables de détérioration sans tenir compte dans un premier temps de l'impact sur les caractéristiques organoleptiques du jus. Pour cela, le plan d'expérimentation de Dolhert suivant a été utilisé.

#### **Conditions du plan d'expérience de Dolhert:**

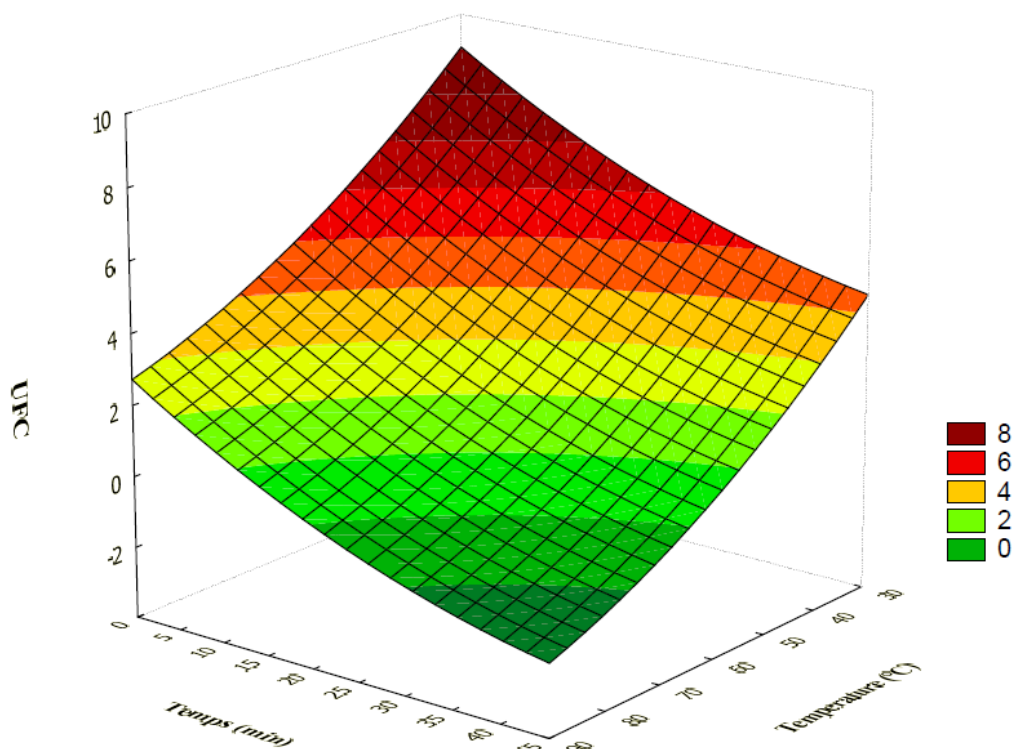
Deux paramètres, temps et température, ont été étudiés ; avec un minimum de temps de 2 min et maximum de 40 min ainsi qu'un minimum de température de 30°C et un maximum de 90°C (**tableau 15**).

**Tableau 15 : Dispositif expérimental Doehlert pour les variables indépendantes (niveaux et les valeurs de données).**

Variables	Minimum	Maximum
Temps (min)	2,00	40,00
Température (°C)	30,00	90,00
Essai	Temps	Température
1	40,00	60,00
2	2,00	60,00
3	30,50	85,98
4	11,50	34,02
5	30,50	34,02
6	11,50	85,98
7	30,50	68,67
8	11,50	51,33
9	30,50	51,33
10	21,00	77,31
11	11,50	68,67
12	21,00	42,69
13	21,00	60,00
14	21,00	60,00
15	21,00	60,00

Les résultats obtenus sur la charge microbienne des levures et des moisissures sont présentés **figure 23**. L'analyse de ces tests nous a permis de définir l'optimum pour diminuer cette charge microbienne. Cet optimum (85,5°C/11,5 min) provoque cependant un changement drastique de la couleur du jus.

Il a également été constaté lors de ces analyses que quelque soit la température entre 70°C et 95°C, après 10 min de traitement la charge microbienne tend vers zéro. Ainsi, à partir de cette zone optimale, nous pouvons assurer un niveau de sécurité microbiologique acceptable tout en préservant au mieux la qualité du produit. Afin de valider et de choisir au mieux, le barème de pasteurisation, et en se référant aux travaux de Peri *et al.* (1988) qui ont utilisé des couples temps/températures dans la zone de 75°C/20 min à 85°C/4,2 min pour des jus de fruits, nous avons réalisés quatre essais de pasteurisation pour en calculer la valeur pasteurisatrice et vérifier l'influence de ces traitements sur quelques critères physico-chimiques.

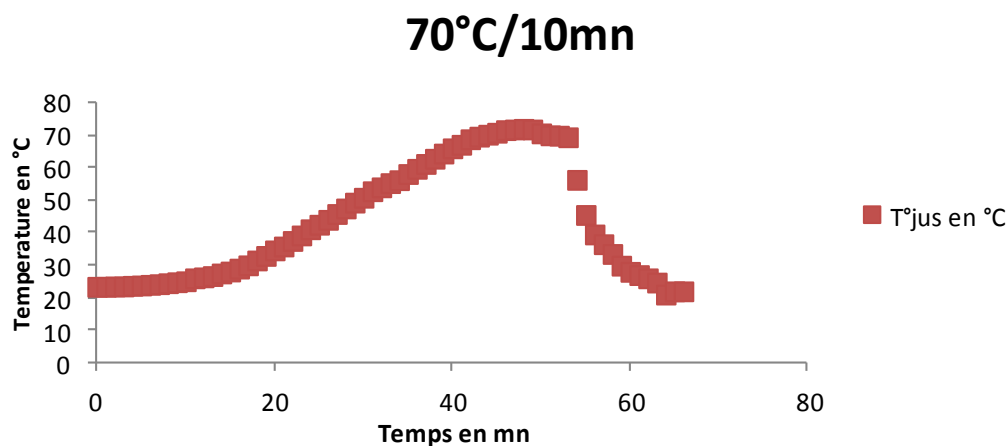


**Figure 23 : Surface de réponse de la charge microbienne des levures et moisissures.**

#### ***II.4 Pasteurisation du jus de fruit de baobab***

Grâce à l'analyse des données d'optimisation, nous avons choisi d'appliquer quatre barèmes différents : 70°C /10 min, 80°C /10 min, 90°C/10 min et 95°C /10 min afin de pouvoir choisir celui qui aura le moins d'impacts négatifs sur la qualité du jus et qui permettra la stabilité microbiologique du produit. A partir de ces résultats, nous en déduirons le barème à utiliser et nous étudierons alors l'évolution du jus lors de la conservation.

Nous avons suivi l'évolution de la température du jus en fonction du temps (**figure 24**) alors que celle de l'eau du bain marie était fixée à 70°C. Au début, la température du jus montait de façon lente. C'est à partir de la dix-huitième minute que cette montée s'accélère pour s'arrêter vers 70°C à la quarante-huitième minute. A ce niveau, la température a été maintenue à 70°C pendant 10 min. Le même suivi a été réalisé avec les trois autres barèmes (80°C/10 min, 90°C/10 min, 95°C/10 min). La même évolution thermique lors du traitement est observée.



**Figure 24 : Evolution de la température du jus lors de la pasteurisation du jus au barème de 70°C/10min.**

A la suite de ces traitements, nous avons déterminé la valeur pasteurisatrice suivant la méthode de Bigelow (Fogel *et al.*, 2004). Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau 16**.

Nous voyons que toutes les valeurs pasteurisatrices sont efficaces contre les microorganismes, ces résultats permettent d'envisager une stabilisation durable des jus. Le choix du barème sera donc sélectionné au regard des résultats obtenus sur les propriétés organoleptiques et nutritionnelles du nectar après traitement.

**Tableau 16 : Valeurs pasteurisatrices des différents barèmes utilisés sur le jus de baobab.**

Barème de pasteurisation (°C/min)	Valeur pasteurisatrice (min)
<b>70/10</b>	<b>32</b>
<b>80/10</b>	<b>108</b>
<b>90/10</b>	<b>213</b>
<b>95/10</b>	<b>380</b>

## ***II.5 Effet de la pasteurisation sur les caractères physico-chimiques du nectar de baobab***

Des analyses de caractérisation physico-chimiques (acidité, dosage de la vitamine C, pH, Brix, teneur en sucres) ont été effectuées sur le produit et les résultats sont présentés dans le **tableau 17**.

Les résultats montrent que la pasteurisation provoque une diminution de l'acidité, de la vitamine C et des sucres réducteurs, le pH et le Brix du jus restant stables. Mais, même si ces effets sont communs à tous les barèmes, ils sont moins importants avec le barème 70°C/10 min. Cela nous a conduit à retenir ce barème pour l'étude de la stabilité du nectar en fonction du temps. En effet, c'est le barème qui a permis de conserver le plus d'éléments nutritifs (91% de la vitamine C et 50 % des sucres réducteurs).

**Tableau 17 : Impact des effets de la pasteurisation sur certaines teneurs en constituants biochimiques du jus de baobab.**

BAREMES	Avant Traitement	70/10	80/10	90/10	95/10
acidité (még/100g de pulpe )	192,9	167,9	153,6	132,1	126,4
vitamine C (mg/100g de pulpe )	178	163	163	155	124
pH	3,06	3	3,09	3,06	2,96
Brix	7,9	7,8	7,9	7,8	7,9
sucres réducteurs (g/100g de pulpe)	18,48	9,22	8,06	5,91	5,34
sucres totaux (g/100g de pulpe )	48,77	51,26	53,76	55,01	58,75

### **II.5.1 Résultats de la caractérisation microbiologique après pasteurisation du jus de baobab**

Pour confirmer le choix porté sur ce barème, des analyses microbiologiques par dénombrement des flores mésophile aérobie, levures, moisissures, bactéries lactiques ont été réalisées, afin de confirmer la bonne pasteurisation.



Nous avons réalisés les analyses pour le barème le plus faible à 70°C/10 min tout en sachant que les effets thermiques sont minimaux par rapport aux autres barèmes. En effet, si les résultats obtenus sont satisfaisants, il sera inutile de faire les autres afin d'économiser du produit.

**Tableau 18 : Caractéristiques microbiologiques du jus avant et après pasteurisation à 70°C/10 min.**

Microorganismes	Avant pasteurisation	Après pasteurisation	Réduction
Mésophile aérobie (UFC)	254	54	78,70%
Levures et moisissures (UFC)	45	0	totale
Bactéries lactiques (UFC)	65	0	totale

Les résultats microbiologiques (tableau 18) montrent une destruction totale des bactéries lactiques et de la flore fongique alors que la flore totale est réduite de 78,70%, ceci met en évidence l'effet positif du traitement thermique à 70°C pendant 10 min sur les levures et moisissures ainsi que sur les bactéries lactiques qui peuvent être responsables de l'apparition de goûts désagréables. Suite à ce traitement, il reste des flores totales inconnues dans lesquelles il faudra vérifier l'absence de germes de contamination fécale (*E. coli*, *Clostridium*). La destruction totale de la flore n'est pas possible avec ce barème et il faudra fixer si nous conservons ce couple, une date limite de consommation (DLC).

Nous avons toutefois utilisé ce barème pour la pasteurisation de notre jus de baobab pour le suivi de ses qualités en fonction du temps.

## ***II.6 Suivi de la qualité du nectar lors de la pasteurisation à 70°C/10 min***

Afin de suivre l'évolution du produit lors de la conservation, le barème de pasteurisation 70°C/10 min a été appliqué au nectar de baobab préparé avec un ratio 1/10 (pulpe/eau) après une 1/2 heure d'agitation dans l'homogénéisateur.

Les bouteilles remplies et pasteurisées ont été conservées à trois températures distinctes :

- 4°C : température de réfrigération
- 25°C : température ambiante du laboratoire
- 37°C : température optimale pour le développement des microorganismes

Afin de suivre l'évolution de la qualité de notre nectar, chaque semaine, les dosages des sucres réducteurs, des sucres totaux, de l'acidité titrable, du pH et de la vitamine C ont été effectués.

### **II.6.1 Evolution des sucres réducteurs après pasteurisation à 70°C/10 min**

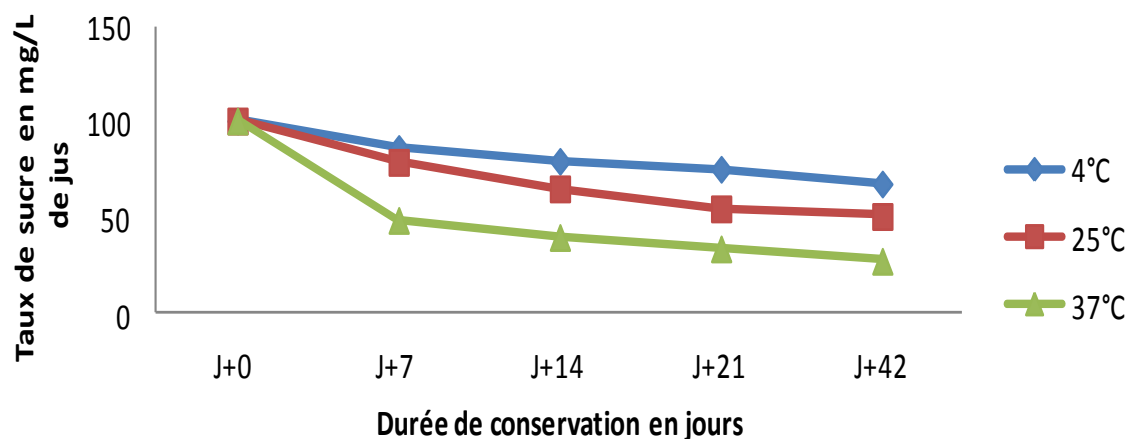
Lors de son stockage, le jus a été analysé chaque semaine, la **figure 25** illustre l'évolution du taux de sucres réducteurs en fonction de la température et du temps.

Les sucres réducteurs diminuent avec le temps à toutes les températures de conservation. Cette diminution est forte lors de la première semaine, puis ralentit durant les semaines suivantes. Après 42 jours de conservation, la teneur en sucres réducteurs a diminué de 32% lors d'une conservation à 4°C, de 49% lors d'un stockage à une température 25°C et de 72% pour une température de stockage de 37°C.

Ceci peut s'expliquer par le fait que durant la première semaine, une dégradation biologique s'est opérée grâce aux flores restantes. En effet pendant ce temps, la flore microbienne persistante après pasteurisation a pu se développer et dégrader les sucres par voie fermentaire. Ensuite, ne se trouvant plus dans un milieu favorable à son développement, cette flore ne s'est plus développée, d'où une diminution de l'utilisation des sucres réducteurs du milieu.

L'interprétation individuelle des courbes nous permet de dire que le taux de diminution à 37°C est bien plus important qu'à 4°C (50 % dès la première semaine). Cela met en évidence une dégradation biologique. En effet, le développement de la flore microbienne est optimal à cette température.

Cette baisse en sucres à 4°C montre qu'en plus de la dégradation biologique, il s'opère une dégradation chimique due aux enzymes. En effet, le froid inhibe la croissance microbienne, mais certaines enzymes restent toujours actives.

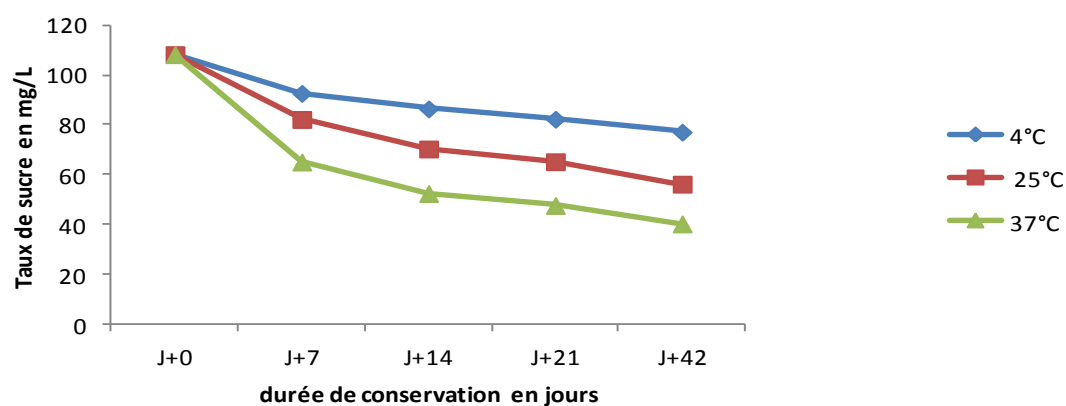


**Figure 25 : Evolution de la concentration en sucres réducteurs en fonction du temps et de la température de conservation du nectar.**

## II.6.2 Evolution des sucres totaux après pasteurisation à 70°C/10 min

Les sucres totaux du jus suivent la même évolution que les sucres réducteurs. Les valeurs obtenues lors de leurs analyses sont repris dans la **figure 26**.

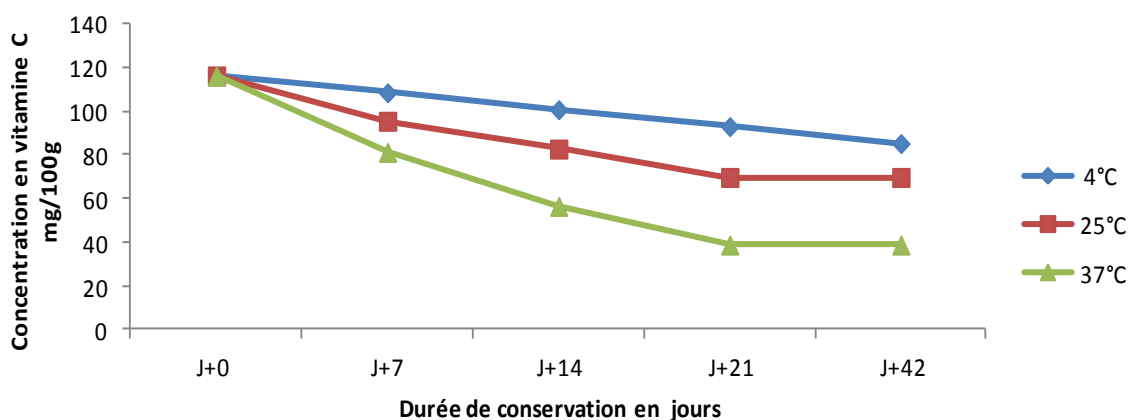
Les courbes montrent que les sucres totaux suivent la même évolution que les sucres réducteurs. Mais l'abaissement dans la première semaine est moins fort qu'avec les sucres réducteurs. Cela veut dire que l'abaissement du taux de sucre est dû essentiellement aux sucres réducteurs.



**Figure 26 : Évolution de la concentration en sucres totaux en fonction du temps et de la température de conservation du nectar.**

### II.6.3 Evolution de la teneur en vitamine C après pasteurisation à 70°C/10 min

La teneur en vitamine C est un facteur de qualité essentiel dans les jus, mais elle présente généralement une stabilité limitée. Sans que les mécanismes réactionnels ne soient toujours bien identifiés, il est fréquent de constater de rapides modifications de la couleur de la pulpe de baobab durant la conservation. Celle-ci peut être reliée à la qualité du jus de la pulpe et à la dégradation de la vitamine C. D'où l'importance de caractériser cette teneur au cours du stockage. L'évolution de la concentration en vitamine C à différentes températures de stockage comprises entre 4 et 37°C est reportée **figure 27**.



**Figure 27 : Evolution de la concentration en vitamine C en fonction du temps et de la température de conservation du jus.**

Contrairement à 4°C où la diminution de la teneur en vitamine C est constante, à 25°C et 37°C, la chute de la teneur en vitamine C est plus importante lors de la première semaine. Cette perte ralentit les 2 semaines suivantes, puis la teneur atteint une concentration finale qui ne varie plus au cours des 2 semaines suivantes. Cette baisse est fonction de la température. En effet, la perte en vitamine C est de 26% à 4°C, de 39% à 25°C et de 66% à 37°C. Cette baisse de teneur peut être due à différentes réactions qui s'opèrent lors de la conservation des aliments. Celles-ci peuvent se faire aussi bien en anaérobiose qu'en aérobiose. En milieu aérobie, l'acide ascorbique par oxydation donne naissance à l'acide déhydroascorbique, qui a la même activité biologique que l'acide ascorbique. Cette oxydation est réversible mais dans les aliments, l'acide déhydroascorbique subit le plus souvent une hydrolyse irréversible qui

conduit à la formation de l'acide 2,3-dicétogulonique. Ce dernier, en solution aqueuse, après décarboxylation, peut donner la 3-hydroxyde-2-pyrone et l'acide 2-furoïque. L'acide 2-furoïque est pratiquement sans odeur. L'acide ascorbique peut aussi se dégrader en milieu anaérobie. En milieu acide et à chaud, l'acide ascorbique subit une déshydratation et une décarboxylation qui conduisent à la formation de produits intermédiaires, de gaz carbonique et de furfural. Cette dégradation anaérobie a été observée dans les jus d'orange au cours de leur stockage. La voie anaérobie conduit, de la même manière que la voie aérobie, à la formation de produits intermédiaires qui peuvent être des réductones, composé intervenant dans la réaction de Maillard et qui expliquent en partie la transformation de la couleur du jus via la formation de mélanoides.

### **Caractérisation de la cinétique de dégradation de la vitamine C chez *A. digitata***

Afin de savoir s'il était possible de prédire la teneur de la vitamine au cours du temps, nous avons exploité nos résultats de manière à produire un modèle traduisant la cinétique de cette dégradation en fonction de la température et du temps de stockage. Selon des études antérieures sur le baobab (Chadaré *et al.*, 2008), la dégradation thermique de la vitamine C au cours du temps est régie par une équation d'ordre 1 (Van Boekel, 2009). Par conséquent, deux modèles ont été testés. Le premier modèle est une cinétique chimique classique (**Equation 1**). Il définit la dégradation constante de la vitamine C via une vitesse de réaction  $k$ , qui dépend de la température et il est représenté par l'équation d'Arrhenius ; où  $k_{\infty}$  est un facteur pré-exponentiel (**s-1**);  $E_a$  est l'énergie d'activation ( $\text{J mol}^{-1}$ ) et  $R$  est la constante des gaz parfaits ( $= 8,32 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ).

$$A = A_0 e^{-kt}$$

$$k = k_{\infty} e^{-\left(\frac{E_a}{RT}\right)} \quad (1)$$

**Equation 1 : Equation d'Arrhenius utilisée pour modéliser la dégradation de vitamine C au cours du stockage.**

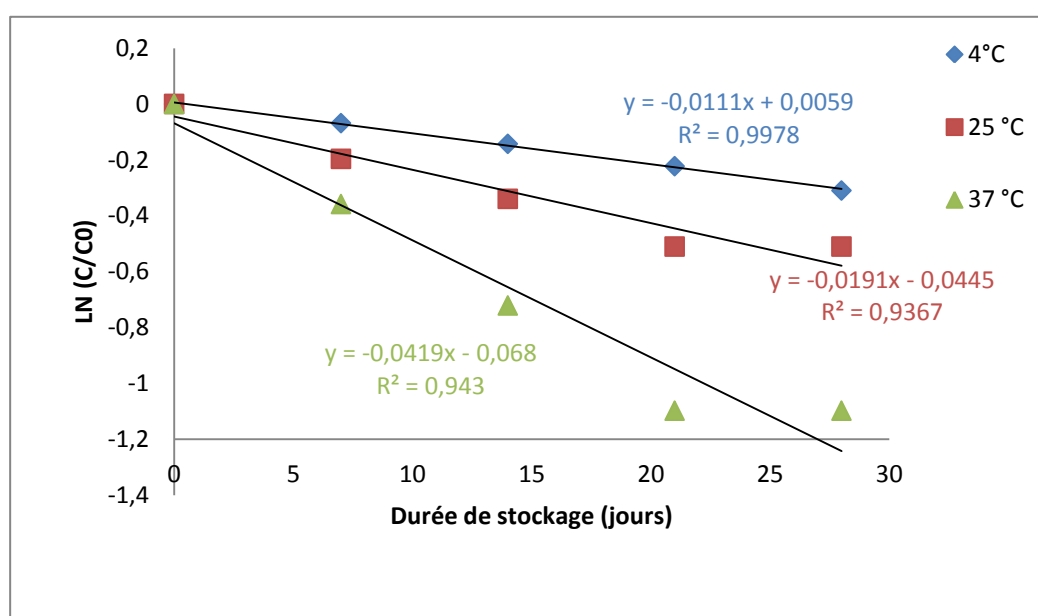
Le deuxième modèle est celui de Ball (**Equation 2**). Ce modèle est le plus souvent utilisé en microbiologie, il définit un temps de réduction décimale qui est lié à la température par l'intermédiaire d'un facteur **z** (2) ; où **D** (s) définit le temps de réduction décimale à la température T. Le logarithme de la concentration en vitamine C est proportionnel au temps du traitement.

$$D = \ln 10 k$$

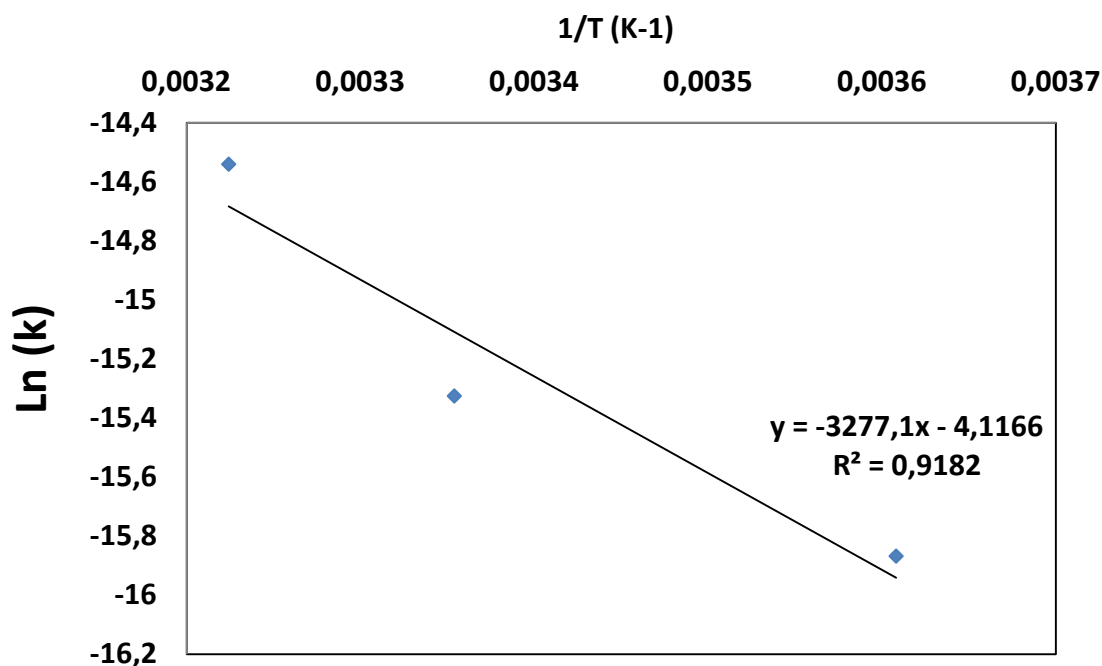
$$D = D_0 10^{-\left(\frac{T}{z}\right)} \quad (2)$$

**Equation 2 : Modèle de Ball utilisé pour modéliser la dégradation de vitamine C au cours du stockage.**

La valeur de **z** est exprimée en °C. Les paramètres du modèle ont été identifiés, en utilisant une régression linéaire sur l'échelle logarithmique des données expérimentales. Les courbes résultant de ce modèle sont représentées **figure 28**. Bien que la valeur de **z** peut être estimée à partir de **Ea** à l'aide de la relation ( $z = \ln(10) RT^2/Ea$ ) ; les paramètres cinétiques **Ea**, **z**, ont été déterminés graphiquement pour la vitamine C (**tableau 19**).



**Figure 28 : Cinétique de dégradation de la vitamine C de la pulpe de baobab en fonction de la température au cours 42 jours de stockage à 4°C, 25°C et 37°C.**



**Figure 29 : Constante de vitesse (k) pour la teneur de la vitamine C pendant 42 jours en fonction de la température.**

**Tableau 19 : Les paramètres de cinétiques de dégradation thermique de la vitamine C du nectar de baobab.**

°C	Arrhenius model			Modèle de Ball		
	k	Ea	R <sup>2</sup>	D	Z	R <sup>2</sup>
	(s <sup>-1</sup> )	(Kj.mol <sup>-1</sup> )		(j)	(°C)	
4	1,3E-07			207,44		
25	2,2E-07	27,2	0,918	120,55	59,52	0,933
37	4,8E-07			54,954		

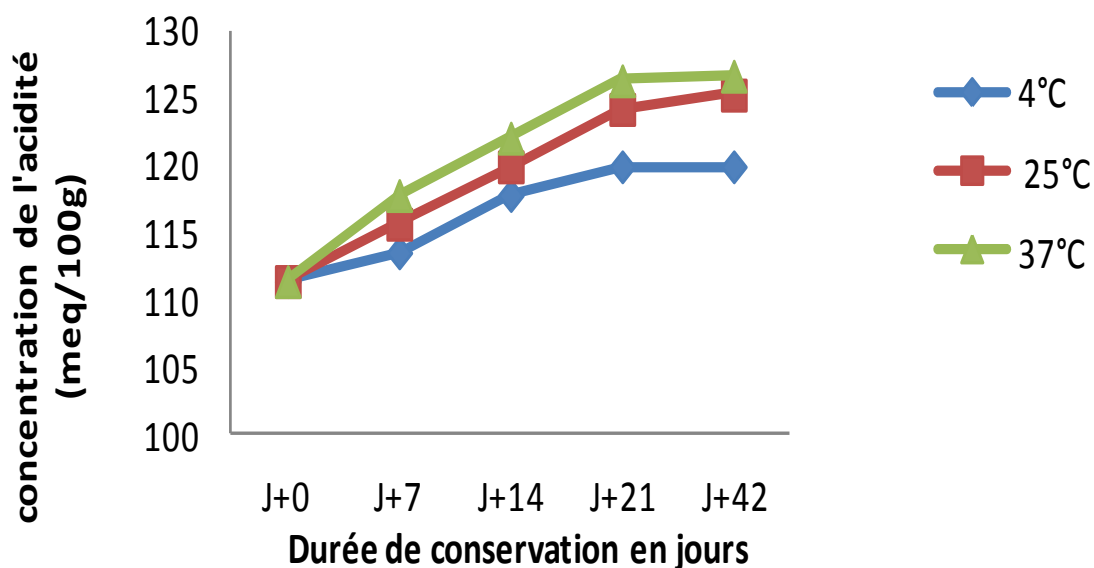
Nos résultats confirment que la dégradation thermique de la vitamine C au cours du temps est régie par une équation d'ordre 1 (Van Boekel, 2009) (**figure 29**). Le logarithme de la concentration en vitamine C est proportionnel au temps du traitement. Ainsi, entre 4 et 37°C, en utilisant les modèles d'Arrhenius et de Ball, les paramètres cinétiques k et D sont compris entre 1,3E-07-4,8E-07et 207,44-54,95 aux trois différentes températures (**tableau 19**). L'effet de la température semble plus marqué sur la détermination des paramètres cinétiques de la dégradation thermique de la vitamine C suivant les modèles d'Arrhenius et de

Ball. L'énergie d'activation ( $27,2 \text{ kJ}^{-1}\text{Mol}$ ) est moyenne dans le cas du jus de baobab puisque pour l'*Hibiscus sabdariffa*, elle est de  $18,0 \text{ kJ}^{-1}\text{Mol}$  (Cisse, 2010) et que pour Black carrot, elle est égale à  $63,2 \text{ kJ}^{-1}\text{Mol}$  (Zozio, 2011).

#### **II.6.4 Evolution de l'acidité après pasteurisation à 70°C/10 min**

Contrairement aux sucres et à la vitamine C, l'acidité titrable du jus augmente avec le temps et la température de conservation (figure 30). Pendant les trois premières semaines, l'acidité a augmenté de 7,7% à 4°C, de 9,8% à 25°C et de 13,8% à 37°C. Cette hausse d'acidité peut être due à des réactions enzymatiques comme celles des lipases. En effet, sous l'action des lipases (estérases), les lipides s'hydrolysent en acides gras et en alcool. Cela pourrait expliquer l'augmentation de l'acidité de notre jus étant donné que le fruit de baobab contient en moyenne 0,98g/100g de matière grasse de pulpe sèche. L'acidité croît dans les trois premières semaines puis se stabilise à partir de la quatrième semaine. Les réactions d'hydrolyse des lipides sont à éviter dans les jus en conservation, car elles conduisent à la formation d'acides gras libres. Ces derniers, en présence de l'oxygène de l'air, peuvent s'oxyder et donner naissance à des produits nauséabonds typiques du rancissement qui déprécie le produit. L'oxydation est accélérée par les rayonnements ultraviolets et la température. Il conviendrait donc de conserver les produits dans un endroit frais, obscur et sans contact avec l'air (conditionnement sous vide).



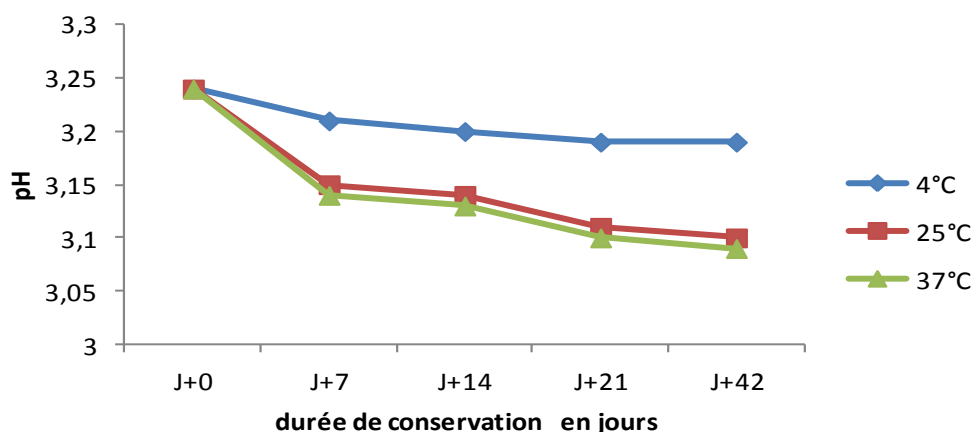


**Figure 30: Evolution de l'acidité titrable en fonction du temps et de la température de conservation du nectar.**

### II.6.5 Evolution du pH après pasteurisation à 70°C/10 min

Le pH est un autre paramètre chimique qui nous permet d'apprécier l'acidité d'un produit. C'est pourquoi il a été mesuré parallèlement à l'acidité, et les résultats sont représentés par la **figure 31**.

Le pH du jus diminue comme l'acidité augmente avec le temps et la température. Mais la baisse de l'un et la hausse de l'autre ne sont pas totalement proportionnels comme dans la logique. En effet même si le pH commence à se stabiliser dans la dernière semaine comme l'acidité, le taux d'abaissement du pH était plus important dans les premiers jours. Cela peut s'expliquer par le fait que le pH n'est pas dans certains cas comme pour celui-ci, uniquement lié à l'acidité. En effet, le pH est égal à  $\log [H^+]$  alors que l'acidité traduit la concentration des molécules capables de libérer des ions  $H^+$ . Il est ainsi possible que certaines bactéries acétiques n'est pas été atteintes par la pasteurisation et se développent au cours de la conservation. Ces bactéries aérobies se développeraient lors des premiers jours de conservation en utilisant l'oxygène présent dans les flacons puis celui-ci se raréfiant, cette croissance s'arrêterait. Cette évolution expliquerait alors la baisse significative de pH au cours de la première semaine de conservation.



**Figure 31: Évolution du pH en fonction du temps et de la température de conservation du nectar.**

## II.6.6 Conclusion sur la pasteurisation

Nous avons pu noter au cours de la pasteurisation une modification quantitatives des différents constituants de la pulpe de baobab. Ces pertes n'altèrent pas fortement la qualité attendu par le consommateur. A 37°C, le jus de baobab pasteurisé n'a pas subi d'altération pendant un mois. Cela signifie qu'à température ambiante, le jus resterait plus de temps sans s'altérer. Ainsi nous pouvons conclure qu'il est possible de stabiliser le nectar de baobab par pasteurisation. En effet, ce traitement a permis d'allonger sa durée de conservation jusqu'à cinq semaines minimum à température ambiante alors que sans pasteurisation, il se dégradait en moins de 24 heures.

Dans notre étude, nous nous étions fixé comme objectifs de déterminer un barème pasteurisateur pour le nectar de baobab. C'est un couple temps/température qui, appliqué au produit, permettra d'allonger sa durée de conservation. Pendant toute cette durée, le nectar doit rester conforme aux exigences nutritionnelles et organoleptiques. Au terme de cette étude, nous avons trouvé un barème de pasteurisation pour le nectar de baobab. Il s'agit d'appliquer au nectar une température de 70°C pendant 10 min. Ce traitement permettra ainsi de transformer le nectar de baobab en un produit à DLC limitée (Durée Limite de Conservation). En effet nos analyses ont révélé que le produit pasteurisé à ce barème peut rester consommable pendant 42 jours.

Cependant un suivi plus long ou des interpolations sur les caractéristiques chimiques à 37°C nous permettraient de déterminer la DLC avec exactitude en utilisant par exemple la cinétique de dégradation de la vitamine C. En outre, cette étude nous a permis de conclure que pour une meilleure préparation du jus de baobab, il faut utiliser le ratio 1/ 10 (pulpe/eau) agité pendant 1 heure.

## ***II.7 Analyse sensorielle du nectar de baobab (*Adansonia digitata*) issu des traitements de pasteurisation et de conservation***

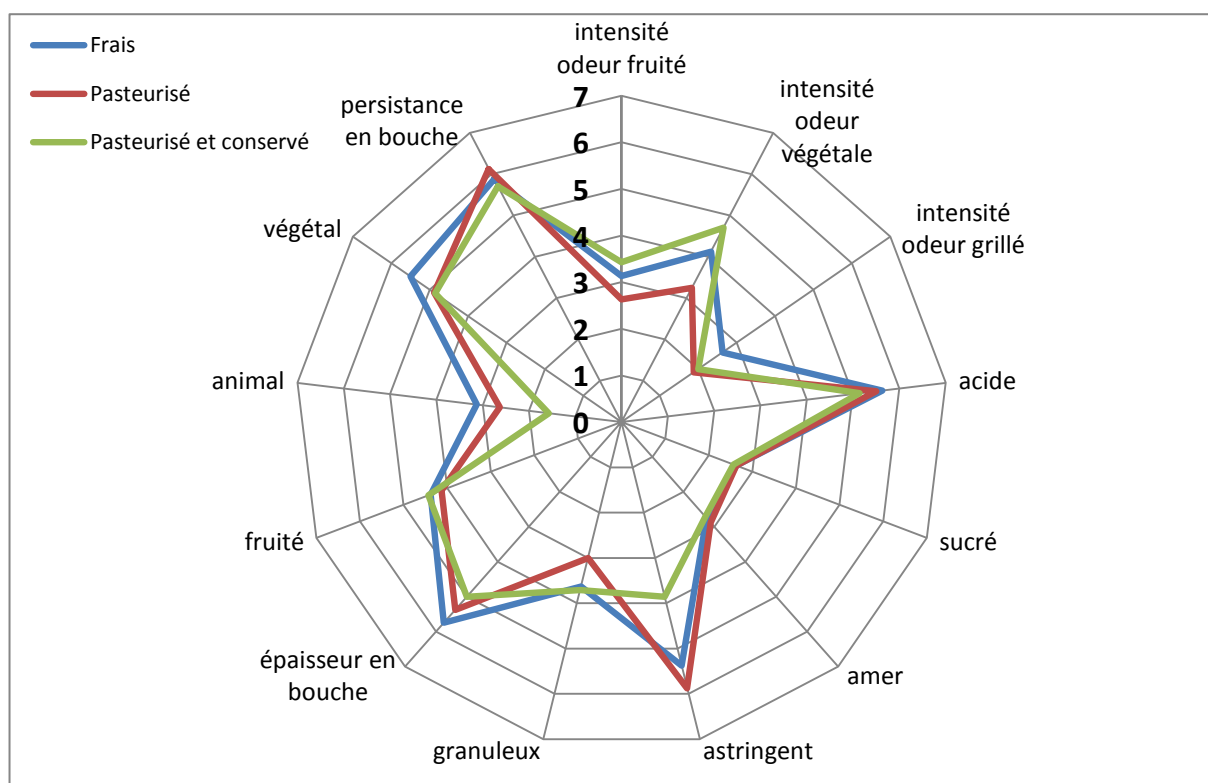
L'objectif de ce travail était dans un premier temps, de savoir s'il existe une différence significative entre le nectar frais et le pasteurisé, puis dans un second volet, de comparer le nectar pasteurisé après 54 jours de conservation à du nectar frais. Ces analyses nous ont donc permis de connaître l'influence de la pasteurisation et celle de la conservation sur la qualité sensorielle du nectar.

Lors d'une séance d'analyse sensorielle descriptive préliminaire, le jury composé de 8 juges s'est accordé sur une liste commune de treize descripteurs (intensité odeur végétale, intensité odeur fruitée, intensité odeur grillé, acide, amer, astringent, sucré, fruité, animal, végétal, granuleux, épaisseur en bouche, persistance en bouche) permettant de caractériser le produit. Ensuite lors des dégustations ultérieures, il a caractérisé les produits en notant tous les descripteurs sur une échelle graduée de 0 à 10. Lors de deux séances de dégustations, les produits ont été présentés par paires (frais et pasteurisé ; frais et pasteurisé conservé).

Le produit « nectar de baobab frais » est caractérisé par une forte acidité et une astringence importante. Il possède une texture en bouche très épaisse et son goût est persistant. Les notes organoleptiques les plus fortes sont végétales puis fruitées. Une note animale est également présente. L'intensité de l'odeur est dominée par des perceptions végétales et fruitées, qui sont complétées par une note grillée (**figure 32**).

Une anova a été réalisée sur l'ensemble des descripteurs, celle-ci indique que le traitement de pasteurisation n'a pas d'influence significative sur la perception du nectar. La conservation du nectar pasteurisé n'a pas non plus d'influence significative sur la perception du produit. Le panel semble juste moins percevoir l'astringence et la note animale du produit.

Des tests triangulaires comparant les produits deux à deux ont confirmé que le jury ne faisait pas de distinction entre les différents produits testés.



**Figure 32 : Comparaison des profils sensoriels des trois nectars de baobab (frais, pasteurisé, pasteurisé et conservé).**

### Test hédonique

Un panel de consommateurs de 20 membres (africains et européens tous sexes confondus) a évalué le jus de baobab aux Maquis des Ivoiriens (Restaurant de Montpellier). Les panélistes ont évalué le produit avec une haute valeur d'acceptabilité (très bon 8/10) en considérant les attributs, tels que la couleur (8,5/10), le goût (9,1/10), la texture (8,6/10), l'odeur (8,3/10), l'homogénéité (8,4/10) et l'apparence générale (7,9/10).

## ***Chapitre III***

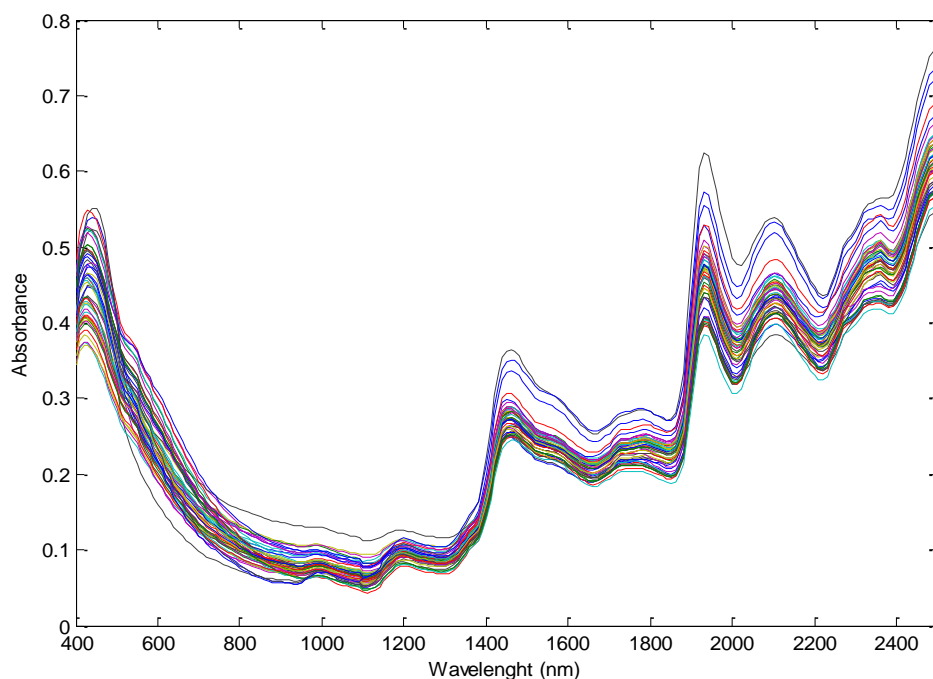
### ***III.1 Etude d'utilisation du SPIR dans l'analyse de la pulpe de baobab***

#### **III.1.1 Analyse par SPIR**

L'objectif de cette étude était de savoir si la spectrométrie proche infrarouge pourrait être utilisée pour déterminer des teneurs en constituants biochimiques. Avant de pouvoir répondre à cette question, il faut déterminer via les analyses chimiques les teneurs en constituants biochimiques de la pulpe. Nous avons effectué ces dosages et les résultats de ces analyses ont été décrits dans le chapitre 1. Nous avons donc utilisé ces résultats d'analyses pour vérifier s'il était possible de les relier à l'empreinte spectrale proche infrarouge. Pour cela, nous avons réalisé l'analyse SPIR sur les échantillons de poudre de baobab. Puis nous avons vérifié s'il était possible d'obtenir des courbes de calibration à partir des empreintes spectrales.

#### **III.1.2 Acquisition et interprétation des Spectres NIRS**

Les spectres SPIR des échantillons de baobab sont représentés sur la **figure 35**. Les bandes correspondant à l'eau peuvent être localisées à 1456 et 1932 nm. Ces bandes de l'eau sont le résultat de multiples chevauchements de bandes. La position apparente de ces bandes change selon le type d'échantillon mesuré. Ce décalage provient des changements, dans les proportions relatives des bandes individuelles qui forment la bande composite. L'absorption à 1726 nm est due aux lipides et les bandes entre 2200 et 2400 nm correspondraient aux lipides et protéines.



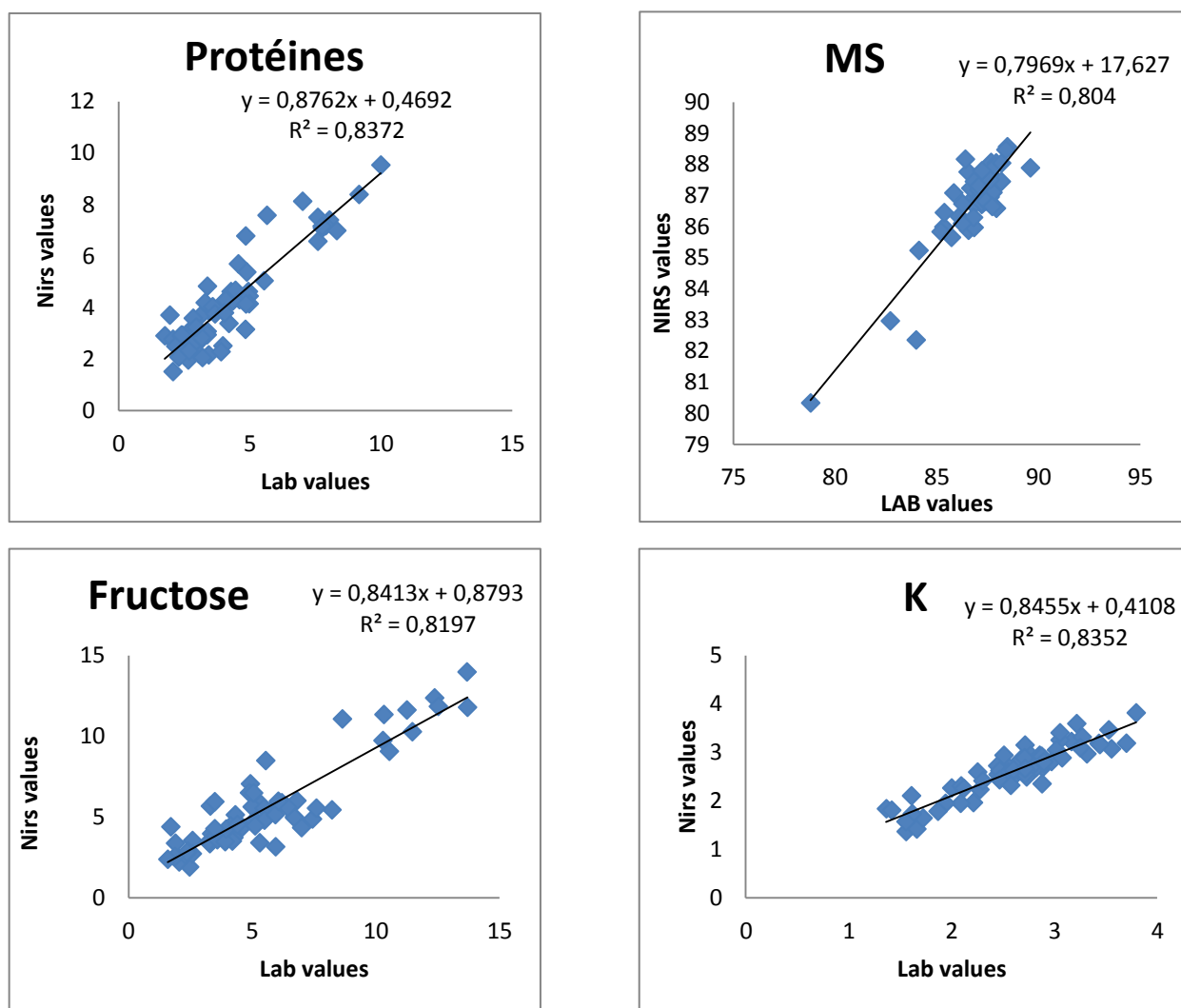
**Figure 35 : Spectres proche infrarouge de pulpe de baobab de 400 à 2500 nm exprimés en log (1/R).**

### III.1.3 Calibrage SPIR

Afin de valider s'il est possible de relier l'empreinte SPIR aux données biochimiques, une analyse statistique de la calibration de l'ensemble des données des échantillons de baobab a été réalisée. Elle nous a permis de calculer les coefficients suivants :

RSQ : coefficient de régression linéaire; SECV : erreur standard de validation croisée; 1-VR : coefficient de détermination, SEC : erreur standard de calibration.

Les spectres X (variables explicatives) et les valeurs de référence Y (variables à expliquer) de tous les échantillons ont été utilisés pour faire une régression MPLS (régression par les moindres carrés partiels modifiée) en vue d'obtenir des équations de prédiction. Ces équations ont ensuite été utilisées pour calculer les valeurs des échantillons de baobab. Les graphes de corrélation pour les teneurs en matière sèche, en fructose, en protéines, en potassium entre les valeurs prédites et les valeurs déterminées au laboratoire sont représentés dans la **figure 36** et les valeurs des coefficients de ces prédictions sont caractérisées dans le **tableau 21**.



**Figure 36 : Graphiques des corrélations entre les données prédites par SPIR en fonction des valeurs du laboratoire pour la teneur en matières sèches, en protéines, en fructose et en potassium.**

Les corrélations entre les valeurs prédites et les valeurs de référence de MS ( $R^2 = 0,80$ ), fructose ( $R^2=0,82$ ), du potassium ( $R^2=0,83$ ) et des protéines ( $R^2 = 0,83$ ) sont meilleures que celles des lipides ( $R^2= 0,69$ ) et calcium ( $R^2=0,73$ ) par exemple.

En théorie, la SPIR ne détecte pas les composés chimiques minéraux. Néanmoins, nous avons pu modéliser le K et le Ca avec des  $R^2$  respectifs de 0,83 et 0,73. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que ces composés minéraux soient complexés avec des composés organiques.

**Tableau 21 : Caractéristiques des données d'étalonnage SPIR pour les teneurs en matière sèche, en protéines, en fructose et en potassium des échantillons de baobab malgaches et ivoiriens.**

	N	Mean	SD	Min	Max	SEC	RSQ	SECV	1-VR	RPD
MS	46	86,7	1,7	78,8	89,6	0,6	0,9	0,8	0,8	2,1
Protéine %MH	68	4,1	1,9	1,8	10,0	0,5	0,9	0,8	0,8	2,4
fructose %MH	63	5,6	3,1	1,6	13,7	1,1	0,9	1,3	0,8	2,4
K	68	2,6	0,6	1,4	3,8	0,2	0,9	0,2	0,8	3

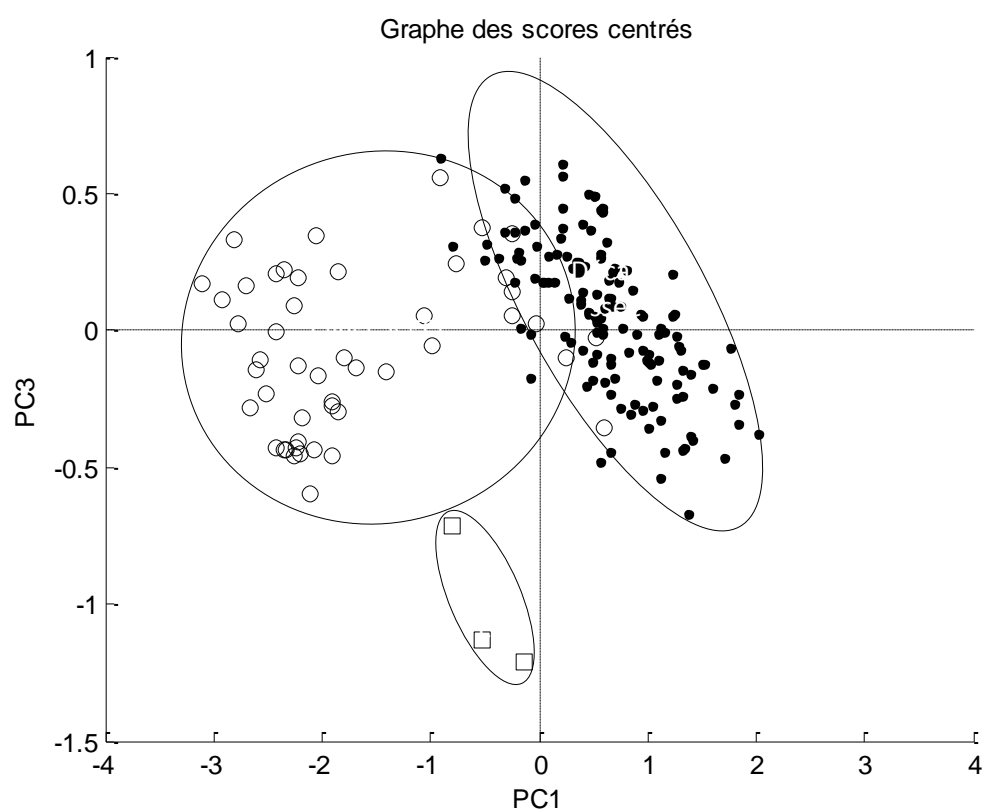
La précision du modèle de calibration est estimée à partir de plusieurs critères. La valeur du coefficient de détermination  $R^2$  est souvent employée comme premier critère (Couteaux *et al.*, 2003). Un  $R^2$  compris entre 0 et 1 représente la part de la variabilité expliquée par le modèle. L'équation de calibration décrit au mieux la variabilité des données de laboratoires quand  $R^2$  tend vers 1. Une valeur de  $R^2$  supérieure à 0,8 qualifie une calibration satisfaisante alors que pour des valeurs de  $R^2$  comprises entre 0,5 et 0,7 le modèle est approximatif. Néanmoins, d'autres critères plus sélectifs sont également pris en compte pour évaluer la précision des calibrations à partir des données SPIR telles que le rapport SD/SECV (Chang *et al.*, 2001; Chang & Laird, 2002). Ces auteurs ont ainsi proposé de classer les modèles en trois catégories suivant leur valeur SD/SECV. La catégorie A correspond à un SD/SECV supérieur à 2 et qualifie les meilleurs modèles. La catégorie B avec un rapport SD/SECV compris entre 1,4 et 2,0 désigne les modèles pouvant être améliorés en utilisant différentes stratégies de calibration. Les modèles de la catégorie C (SD/SECV inférieur à 1,4) sont considérés comme n'étant pas fiables. Avec la poudre de baobab, parmi tous les constituants biochimiques étudiés, seules les quatre précédemment cités (MS, protéines, fructose et potassium) aboutissent à une bonne calibration par SPIR. Nous n'avons pu aboutir à une relation correcte pour les autres constituants biochimiques que nous avons préalablement quantifiés.

Nous avons également voulu savoir si une séparation des espèces était envisageable par le biais des empreintes spectrales SPIR des poudres de baobab. Pour ce faire nous avons fait une analyse en composantes principales (ACP) à partir des longueurs d'ondes étudiées. Bien que les spectres SPIR ne nous ai pas permis de corréler les spectres aux teneurs en constituants biochimiques, cette analyse nous a permis de séparer 3 groupes (**figure 37**). Le 1<sup>er</sup> correspond à l'espèce *A. digitata* de Côte d'Ivoire, il se distingue des deux autres sur la 3<sup>è</sup> composante. La 1<sup>ère</sup> composante nous permet de discriminer deux autres groupes même si ces derniers ne



sont pas complètement distincts ; le premier correspondant à l'espèce *A. grandidieri* et l'autre comprenant les autres espèces de baobab. Ces groupes rejoignent la séparation des espèces faite par Wickens & Lowe, (2008) qui ont classées celles-ci en trois sections.

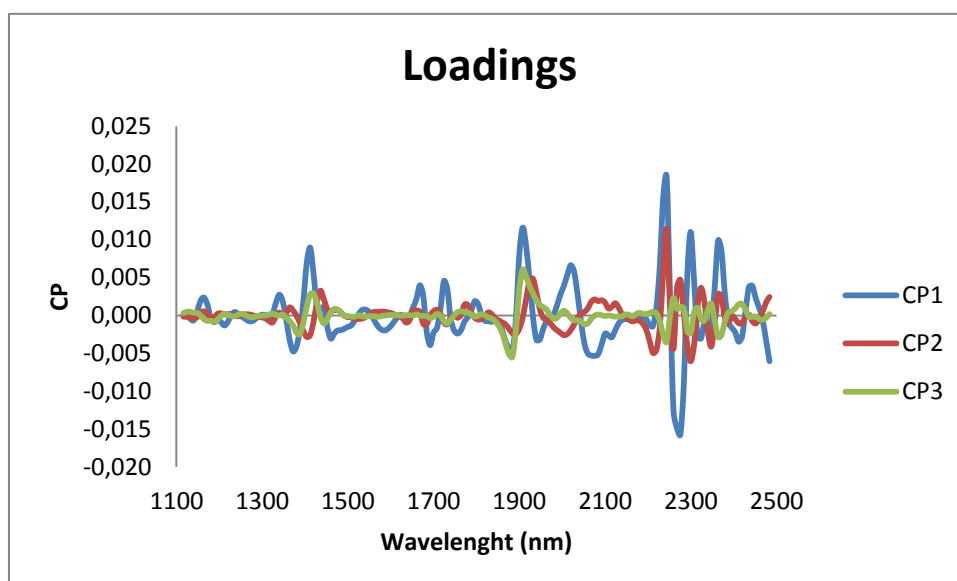
- La section des Brevetubae qui comprend deux espèces : *Adansonia grandidieri* Baillon (région Ouest) et *A. suarezensis* H. Perrier (région Nord).
- La section des Longitubae comporte quatre espèces : *A. rubrostipa* Jum. & H. Perrier (régions Sud-Ouest, Ouest et Nord- Ouest), *A. za* Baillon (régions Nord-Ouest au Sud), *A. madagascariensis* Baillon (régions Nord et Nord- Ouest) et *A. perrieri* Capuron (région Nord)
- La section *Adansonia* comporte une seule espèce, *A. digitata* L. (région Nord-Ouest), le baobab africain.



**Figure 37 : Répartition des échantillons pour les composantes principales 1 et 2, □ *A. digitata* (Côte d'Ivoire), ○ *A. grandidieri* (Madagascar), ● autres variétés de Madagascar.**

Dans notre cas, l'interprétation des loadings (poids factoriel ou coordonnées des variables, **figure 38**) s'avère difficile, vu la faible robustesse des modèles de glucides et les teneurs faibles en protéines et lipides. Si ces analyses se confirment, il sera nécessaire d'approfondir

les recherches afin de déterminer les paramètres physico-chimiques nous permettant de distinguer les trois sections de baobab.



**Figure 38 : Coefficient des vecteurs propres de l'ACP en fonction des longueurs d'ondes.**

En conclusion, nous avons pu montrer qu'il existait une corrélation entre quelques constituants biochimiques et les empreintes SPIR. Afin de confirmer ces résultats, il conviendra d'augmenter notre banque de données. L'apport de nouveaux échantillons devrait permettre d'améliorer nos modèles de prédiction sur ces teneurs ainsi que de compléter les modèles qui s'avèrent encore perfectibles pour les autres macronutriments (lipides, protéines et cendres).

De plus, nous avons également observés qu'une distinction des espèces sur la base de leur appartenance aux sections est possible, il conviendra comme pour les modèles prédictifs précédents de compléter cette étude en ajoutant des nouveaux échantillons à notre base existante afin de valider complètement ce début de discrimination.

## CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Ce travail de recherche mené entre trois pays, la France, Madagascar et la Côte d'Ivoire avait pour objectif principal de mieux caractériser la pulpe des fruits et de mettre en évidence la diversité biochimique des espèces originaires de Madagascar, afin de sélectionner les espèces les plus prometteuses du point de vue nutritionnel. Pour atteindre cet objectif, il a fallu d'abord optimiser les moyens disponibles au niveau de chaque pays en les intégrant dans une même chaîne malgré les barrières liées au temps et aux distances entre les origines des espaces et leur période de production. A l'issue de trois années de recherche, nous avons abordé l'étude de la caractérisation biochimique, minérale et nutritionnelle des différentes espèces.

Au cours de ce travail, nous avons utilisé les techniques classiques d'analyse biochimique pour caractériser les fruits du baobab. Les pulpes de baobabs malgaches et africaines sont riches en composés phénoliques, vitamine C et en minéraux. Il existe cependant des variations entre les espèces. Les valeurs trouvées sont supérieures à de nombreux fruits de grande consommation. Nous avons suggéré des explications pour les variations entre les espèces de Madagascar et celle de Côte d'Ivoire. Nos résultats indiquent que le pouvoir antioxydant de la pulpe des baobabs tant africains que malgaches est supérieur aux fruits de grande consommation, il varie entre 108 et 158  $\mu\text{molTrolox.g}^{-1}$  et que la pulpe peut participer à un équilibre nutritionnel et ainsi satisfaire aux exigences des consommateurs. Nous avons également montré qu'il semble possible de classer les espèces de baobab en fonction de leur constitution biochimique spécifique. En effet, certaines espèces se distinguent des autres par des teneurs plus importantes en protéines ou en vitamine C tandis que d'autres par des teneurs plus faible en matière grasse.

La transformation de la pulpe de baobab en nectar a également été abordée. Dans cette partie du travail, nous nous étions fixé comme objectif de déterminer un barème pasteurisateur pour le nectar de baobab sans modifier les qualités nutritionnelles et organoleptiques. Cette étude nous a permis de conclure que pour une préparation du jus de baobab et une bonne acceptation du produit pour sa consommation, il faut utiliser un ratio 1 kg/10 litres (pulpe/eau). Le barème de pasteurisation à appliquer au produit est le couple suivant : une température de 70°C pendant 10 min. Ce traitement permet ainsi de transformer le jus de baobab en un produit dont il conviendra de définir une durée limite de conservation

(DL) précise. En effet, nos analyses ont révélées que le produit pasteurisé à ce barème peut rester consommable pendant 42 jours. Cependant un suivi plus long ou des interpolations sur les caractéristiques chimiques à 37°C nous permettraient de déterminer la DLC avec exactitude en utilisant par exemple la cinétique de dégradation de la vitamine C.

L'étude de la dégradation thermique et la stabilité de la vitamine C a mis en évidence la sensibilité de ce composé à des températures élevées supérieures à 60 °C. Les cinétiques de dégradation mesurées pendant la conservation entre 4 et 37 °C du jus ont confirmé que la dégradation de la vitamine C suit une réaction d'ordre 1 avec des constantes de vitesse comprises entre 1,3E-07 et 4,8E-07. Deux modèles cinétiques, Arrhenius et Ball, ont été utilisés pour déterminer les paramètres cinétiques tels que l'énergie d'activation, et le facteur z. Ces modèles peuvent valablement être utilisés pour prédire les pertes en vitamine C pendant la conservation du produit.

Si une valeur ajoutée était donnée à la pulpe en améliorant sa gestion, sa qualité et sa stabilité au stockage en utilisant des méthodes de traitement adéquates, cela contribuerait à accroître son intérêt dans le marché de l'agroalimentaire. À l'heure actuelle, la préservation de la pulpe, malgré toute son importance, n'est pas bien contrôlée par la population et conduit à des pertes indésirables. La continuité de la recherche est importante et permettra de surmonter les problèmes de stabilité de la pulpe pour prolonger sa durée de conservation tout en préservant sa valeur nutritive et sensorielle.

Néanmoins, il est d'ores et déjà possible de mettre à profit les résultats obtenus pour produire une boisson à base de pulpe de baobab de très bonne qualité conservant toutes les caractéristiques du produit initial.

D'autres recherches seront nécessaires pour améliorer la qualité et la durée de conservation de la pulpe, pour identifier les composés à l'origine de la forte activité antioxydante observée et pour fournir des informations sur la biodisponibilité des macronutriments et des micronutriments. Les effets de la cuisson et autres techniques de traitement sur la valeur nutritionnelle globale des produits doivent également être poursuivies. Afin d'améliorer nos connaissances sur la pulpe de baobab et de valoriser au mieux son potentiel, des études complémentaires sur les activités biologiques sont à mener. Elle permettrait d'infirmer ou de confirmer les nombreuses propriétés pharmacologiques décrites pour ce fruit.

Une étude de faisabilité d'utilisation de la spectrométrie proche infrarouge pour prédire la qualité et la constitution de la pulpe a été réalisée. Parmi les constituants biochimiques, une bonne calibration des teneurs en matière sèche, en protéines, en fructose et en potassium a été obtenue. Les modèles obtenus pour les autres constituants ne sont actuellement pas suffisamment précis pour envisager leur utilisation. Il conviendra d'augmenter notre base de données pour compléter les modèles et augmenter leur robustesse. Ces analyses nous ont permis cependant de montrer qu'il semble possible de discriminer les espèces sur la base de leur description botanique. En effet, il semble possible de séparer celle-ci sur la base de leur appartenance aux sections *brevetubae* et *longitubae*. Il conviendra cependant comme précédemment d'augmenter le nombre d'échantillons analysés pour confirmer cette séparation.

## Références Bibliographiques

- Adam, J. (1974). *La pharmacopée sénégalaise traditionnelle Plantes médicinales et toxiques*. Paris France: Vigot Frères.
- Addy, O., Salami, L., Igboeli, L., & Remawa, H. (1995). Effect of processing on nutrient composition and anti-nutritive substances of African locust bean (*Purkia Filicoidea*) and baobab seed (*Adansonia digitata*) *Plante Foods Hum nutrition*, 48, 113-117.
- Agrobio. (2007). <http://www.labo-nutrinov.com/Accueil/accueil.php>.
- Ambe, G. (2001). Les fruits sauvages comestibles des savanes guinéennes de Côte-d'Ivoire : Etat de la connaissance par une population locale, les Malinké. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 5(1), 43-58.
- Anani, K., Hudson, J., De Souza, C., Akpagana, K., Towers, G., Arnason, J., & Gbeassor, M. (2000). Investigation of Medicinal Plants of Togo for Antiviral and Antimicrobial Activities. *Pharm. Biol*, 38, 40-45.
- Anon. (2003). *Le Baobab. Fiche technique*. Dakar, Sénégal: Fond Natl. Rech. Agric. Agroaliment. (FNRAA).
- Anon. (1990). Fruits and fruits products. In i. H.(Ed.), *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists (AOAC)* (pp. 910– 928). Arlington, USA
- Arnal-Peyrot, F., & Adrian, J. (1974). Métabolisme des pentosanes de céréale chez le rat. *Int.J. Vitam. Nutr. Res*, 44(4), 543-552.
- Assogbadjo, A., De Caluwé, B., Sinsin, J., Codjia, T. (2006). Indigenous Knowledge of Rural People and Importance of Baobab Tree (*Adansonia digitata* L.) in Benin. In e. in Z F Ertug (Ed.), *Proceedings of the Fourth International Congress of Ethnobotany ICEB 2005*, pp. 39-47, Yeditepe University.

- Assogbadjo, A., Glèlè Kakai, R., Chadare, F., Thomson, L., Kyndt, T., Sinsin, B., & Damme, P. (2008). Folk classification, perception and preferences of baobab products in West Africa: consequences for species conservation and improvement. *Econ. Bot*, 62, 74-84.
- Assogbadjo, A., Sinsin, J., & Van Damme, P. (2005). Caractères morphologiques et production des capsules de baobab (*Adansonia digitata* L.) au Bénin. *Fruits*, 60, 327-340.
- Baeten, V., Dardenne, P. (2005). Applications of near-infrared imaging for monitoring agricultural food and feed products In *Spectrochemical Analysis Using Infrared Multichannel Detectors* Oxford R. Bhargava and I.W. Levin (eds),. *Blackwell Publishing*, 283 - 301.
- Bationo, B., Nieyidouba, L., Nicole, D., & Serigne, K. (2009). Culture du baobab *Adansonia digitata* L. Bombacaceae en planche maraîchère : une méthode pour simplifier sa récolte et favoriser sa propagation au Sahel In *Bois et Forêts des tropiques*, Vol. N ° 299, pp. 79-86. Montpellier France: Cirad.
- Baum, D. (1995a). The comparative pollination and floral biology of baobabs (*Adansonia* – Bombacaceae). *Annals of Missouri Botanical Gardens*., 82, pp. 322-348.
- Baum, D. (1995b). A systematic revision of *Adansonia* Bombacaceae. *Annals of Missouri Botanical Gardens*, 82, pp. 440-470.
- Baumer, M. (1995). *Arbres, arbustes et arbrisseaux nourriciers en Afrique occidentale*. Dakar, Sénégal.
- Bautista, O., Fernandez, F., Lopez, R., & Gomez, P. (2007). The effects of oenological practices in anthocyanins, phenolic compounds and wine colour and their dependence on grape characteristics. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20, 546-552

- Becker, B. (1983). The contribution of wild plants to human nutrition in the Ferlo (Northern Senegal) *Agroforestry Systems*, 1, 257-267.
- Bellon, V., Vigneau, J., & Leclercq, M. (1993). Feasibility and performance of a new, multiplexed, fast and low-cost fibre-optic NIR spectrometer for the on-line measurement of sugar in fruits. *Appl. Spectrosc*, 47, 1079-1083.
- Benefice, E., & Chevassus-Agnes, S. (1981). Situation alimentaire des éleveurs de la zone sylvo-pastorale : résultats globaux document de travail destiné aux chercheurs intéressés du projet LAT-FERLO. (pp. 24 p ). Dakar: Organisme de recherches sur l'alimentation et la nutrition africaines (ORANA).
- Berhaut, J. (1974). *Flore illustrée du Sénégal* (Vol. tome 2). Dakar, Sénégal: Clairafrique.
- Besco, E., Bracioli, E., Vertuani, S., Ziosi, P., Brazzo, F., Bruni, R., Sacchetti, G., & Manfredini, S. (2007). The use of photochemiluminescence for the measurement of the integral antioxidant capacity of baobab products. *Food Chemistry*, 102, 1352-1356.
- Bonassieux, M. (1988). *Tous les fruits comestibles du monde*. Paris, France, : Bordas.
- Boukari, Shier, N. w., Fernandez, X., Frisch, Watkins, R., Pawloski, L., & Fly, A. (2001). Calcium analysis of selected Western African foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14, 37-42.
- Bourgeois, C. (2002). Les vitamines dans les industries agroalimentaires. In *Coll Sci Tech Agroaliment*. Paris, France: Tec & Doc.
- Burt, G. (1996). Queens of the dry forest *Ballya*, 3, 25-30.
- Burton-Page, J. (1969). The problem of the introduction of *Adansonia digitata* into Africa. *Domestication and Exploitation of Plants and Animals* (pp. 331-335). Duckworth London.



- Busson, F. (1965). Plantes Alimentaires de l'Ouest Africain, Etude botanique.biologique et chimique. Marseille, France. Leconte.
- Capuron. (1960). Contribution à l'étude de la flore de Madagascar. *Not sys Paris France*, 16, 60-80.
- Cardiff, S., & Befourouack, J. (2003). The reserve spécial d'Ankarana. *The Natural History of Madagascar* (p. 1501-1507). Chicago: In Goodman SM Benstead J P eds.
- Carr, W. (1955). Ascorbic acid content of baobab fruit. *Nature*, 176, 1273.
- Chadare, F., Linnemann, A., Hounhouigan, J., Nout, M., & Van Boekel, M. (2009). Baobab food products: a review on their composition and nutritional value. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 49, 254-274.
- Chevalier, A. (1906). Les baobabs (*Adansonia*) de l'Afrique continentale. *Bull Soc Bot France*, 53, 480-496.
- Cimander, C., Bachinger, T., & Mandenius, C. (2002). A multianalyzer expert system for enhanced bioprocess monitoring and control. *J Chem Technol Biotechnol* 77, 1157–1168.
- Cisse, M., Sakho, M., Dornier, M., Diop, C., Reynes, M., & Sock, O. (2008). Caractérisation du fruit du baobab et étude de sa transformation en nectar. *Fruits*, 64, 19-34.
- Clark, C., McGlone, V., & Jordan, R. (2003). Detection of brownheart in Braeburn' apple by transmission NIR spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* 28, 87-96.
- Codja, C., Fonton, K., Assogbadjo, A., & Ekue, M. (2001). *Le baobab une espèce à usage multiple au Benin*. Cent. Int. d'Ecolo. Dév. integr. (CECODI) Cotonou, Benin.
- Codjia, J., Assogbadjo, A., & Ekué, M. (2003). Diversité et valorisation au niveau local des ressources forestières alimentaires végétales du Bénin *Cah. Agric.* , 12, 321–331.

- Danthu, P., Roussel, J., Gaye, A., & El mazzoudi, E. (1995). Baobab *Adansonia digitata* Seed pretraitements for germination improvement. *Seed Sci Technol*, 23, 69-75.
- Davis, J., & Grant, I. (1987). a knowledge-based decision suport system for producing zoning schemes. *Environment and Planning B*, 14, 53-66.
- De Caluwé, E., De Smedt, S., Assogbadjio, A Samson, R., Sinsin, B., & Van Damme, P. (2009). Ethnic differences in use value and use patterns of baobab (*Adansonia digitata* L.) in northern Benin. . *African Journal of Ecology*, 47 (3), 433-440.
- De Caluwé, E., Halamova, K., & Van damme, P. (2010). A review of traditional use, phytochemistry and pharmacology *Afrika focus*, 1(23), 11-51.
- De Smedt, S., Alaerts, K., Kouyaté, A., Van damme, P., Potters, G., & Samson, R. (2010). Phenotypic variation of baobab *Adansonia digitata* L. fruit traits in Mali. *Agroforestry Systems*, 82, 87-97.
- Decary, R. (1921). Monographie du District de Tshihombé. *Bull Econ Madagascar*, 18, 7-28.
- Delisle, H., Bakari, S., Gevry, G., Picard, C., & Ferland, G. (1997). Teneur en Provitamine A de Feuilles vertes Traditionnelles du Niger. *Cahiers Agricultures*, 6(8), 553-560.
- Déprez, S., Mila, I., Huneau, J., Tomé, D., & Scalbert, A. (2001). Transport of proanthocyanidin dimer, trimer and polymer across monolayers of human intestinal epithelial Caco-2 cells. *Antiox Redox. Signal*, 3, 957-967.
- Diop, A., Sakho, M., Dornier, M., Cisse, M., & Reynes, M. (2005). Le baobab africain (*Adansonia digitata* L.): principales caractéristiques et utilisations. *Fruits*, 61, pp. 55-69.
- Donovan, S., & Harper, D. (2002). Trechmann's footsteps: the geology of southeast Barbados In Anon (ed). In C. G. Conference (Ed.), (Vol. 16th-21st pp. 85-98). Barbados, June: Field Guides, 16th.

- Du Puy, B. (1996). Faunal interactions with the genus *Adansonia* in the Kirindy Forest . In :Ganzhorn JU, Sorg JP (eds), Ecology and Economiof a tropical Dry Forest in Madagascar.Primate Rep 46-1 Special Issue : 29-334.
- Fall T. (2001). Étude sur la collecte et l'analyse des données sur les produits forestiers non ligneux au Sénégal (Forestry Statistics and Data Coll ed.). Rome, Italy: FAO.
- Favier, J., Ireland-Rippert, J., Laussucq, C., & Feinberg, M. (1993). Répertoire général des aliments Table de composition des fruits exotiques fruits de cueillette d'Afrique In (Vol. Tome 3). Paris France. Lavoisier.
- Fogel M., Lapoile A. et Mortreux S. (2004). Optimisation de barèmes d'appertisation de cuisses de canard cuisinées. Polytech'Lille. Document présenté pour l'obtention d'un Master Pro Qualimapa (USTL-Lille).
- François M. (1993). Transformer les fruits tropicaux. In *Guide technique,GRET* . Paris, France.
- Galil, N. (1996). *Evaluation of baobab Gonglase solution for home management of diarrhoea in Sudanese children*. Suède.
- Gancel, A., Pascaline, A. & Fabrice, V. (2008). Identifying Carotenoids and Phenolic Compounds In Naranjilla (*Solanum quitoense* Lam Var. Puyo Hybrid) an Andean Fruit. *J. Agric Food Chem*, 56(24), 11890-11899.
- Gaydou, E., Bianchini, & Ralaimanarivo, A. (1982). Cyclopropenoid Fatty Acids in Malagasy baobab *Adansonia grandidieri* Bombacaceae Fette Seifen Anstrichmittel. *seed oil*, 12, 468-472.
- Gaywe R., Contribution à l'étude chimique et pharmacologique de *Adansonia digitata* L. (baobab) : dosage du calcium dans les feuilles, Univ. Cheikh Anta Diop, Fac. Méd. Pharm., Thèse, Dakar, Sénégal, 1987.

- Gebauer, J., El Siddig, K., & Ebert, G. (2002). Baobab (*Adansonia digitata* L.): a review on a multipurpose tree with promising future in the Sudan. *Gartenbauwissenschaft*, 67(4), 155-160.
- Georgé, S., Brat, P., Alter, P., & Amiot, M. (2005). Rapid determination of polyphenols and vitamin c in plant-derived products. *J. Agric. Food Chem*, 53, 1370–1373.
- Glew, R., Van der Jagr, D., Laeken, C., Griveui, L., Smith, G., Pastuszyn, A., & Millson, M. (1997). Amino acid fatty acid and mineral composition of 24 indigenous plants of Burkina Faso. *Journal of Food Composition and Analysis*, 10, 205-217.
- González, M., Gloria Lobo, M., Méndez, J., & Carnero, A. (2005). Detection of colour adulteration in cochineals by spectrophotometric determination of yellow and red pigment groups. *Food Control*, 16, 105-112.
- Guillaumet, J. (1984). The vegetation an extraordinary diversity. In P. oxford (Ed.), *In Jplly A, Oberlé P* (pp. 27-54). Albignac R eds Madagascar.
- Guinko, S. (1988). Rôle de quelques espèces ligneuses spontanées pour les programmes d'amélioration génétique et de reforestation. Act. Séminaire régional sur les semences forestières. Ouagadougou, Burkina Faso.
- Gunasekaran, S., & Irudayaraj, J. (2001). Optical methods: Visible, NIR, and FTIR spectroscopy In *Nondestructive Food Evaluation Techniques to Analyze Properties and Quality* In e. b. S. Gunasekaran (Ed.), (pp. 1-37). New York: : Marcel Dekker, Inc.
- Gustad, G. (2001). Non-timber forest products and harvesting of *Adansonia digitata* L. in the municipality of Cinzana, Mali. In Aas (Norway).
- Gustad, G., Dhillion, S., & Sidibe, D. (2004). Local use and cultural and economic value of products from trees in the parklands of the municipality of Cinzana, Mali. *Econ Bot* 58, 578-587.

- Guyot, C., & Duprazi, P. (2004). Déguster les baies pour suivre la maturité du raisin. *Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture*, 36, 231-234.
- Haddad C. (2000). *Fruitiers sauvages du Sénégal*. Thèse, Univ. Montpellier I, Montpellier, France.
- Hannah, L., Radhika, D. r., Lowry II, P. P., Andelman, S., Andrianarisata, M., Andriamaro, L., Cameron, A., Hijmans, R., Kremen, C., Mackinnon, J Randrianasolo, H. H., Andriambololonera, S., Razafimpahanana, A., Randriamahazo, H., Randrianarisoa, J., Razafinjatovo, p., Raxworthy, C., Schatz, G. E., Tadross, M., & Wilmé, L. (2008.). Climate change adaptation for conservation in Madagascar. *Biology Letters*, 4, 590-594.
- Honarbaksh S., & Schachter M. (2009). Vitamins and cardiovascular disease. *Br J Nutr.*, 101(8), 1113-1131.
- Hourant, P., Baetten, M., Morales, M., Meurens, R., & Aparicio, R. (2000). Oil and fat classification by Selected bands of NIRS. *Appl. Spectrosc*, 54(8), 1168–1174.
- Ibiyemi, S., Abiodun, A., & Akanji, S. (1988). *Adansonia digitata*, Bombax and Parkia filicoideae Welw: Fruit Pulp for the Soft Drink Industry. *Food chemistry*, 28, 111-116.
- ICRA, I. (2001). Technologies (agro) forestières. In Coordination (Ed.), *Notes de cours destinées aux agents techniques des partenaires* (pp. 13). Ségou, Mali: nationale Ier-Icraf.
- Karumi, Y., Augustine, A., & Umar, I. (2008). Gastroprotective effects of aqueous extract of *Adansonia digitata* leaf on ethanol-induced ulceration in rats. *J. Biol. Sci*, 8, 225-228.
- Kelly M. T., Blaise A., & Larroque M. (2010). Rapid automated high performance liquid chromatography method for simultaneous determination of amino acids and biogénic amines in wine fruit and honey. *J. Chromatography*, 1217, 7385–7392.

- Kenne, F. (1994). Contribution à l'étude de l'activité antidiarrhéique de la pulpe de fruit de *Adansonia digitata* L. (*Bombacaceae*). Thèse, Univ. Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal.
- Kerharo, J., & Adam, J. (1974). La pharmacopée sénégalaise traditionnelle. Plantes médicinales et toxiques. *Vigot Frères, Paris, France. pp 1007.*
- Kondo, M., Takeshita, T., Higuchi, M., Nakamura, M., Sudo, T., NishiCarlyle, J.R., Michie, A.M., Furlonger, C., Nakano, T., Lenardo, M.J., kawa, S., and Sugamura, K. (1994). Functional participation of the IL-2 receptor  $\gamma$  chain in IL-7 receptor complexes. *Science*, 263, 1453–1454.
- Lammertyn, J., Nicolaï, Ooms, K., De Smedt, V., & De Baerdemaeker, J. (1998). Non-destructive measurement of acidity, soluble solids, and firmness of Jonagold apples using NIR spectroscopy. *Trans. Am. Soc. Ag. Eng.*, 41, 1089-1094.
- Le Bellec, F., Judith, R., Dijoux, S., & Schröder, A. (1997). La pitahaya à l'île de la Réunion un nouveau fruit bien séduisant. *Fruitrop*, 41 17-18.
- Leger, S. (1977). The Hidden Gifts of Nature A Description of Today's Use of Plants in West Bushmanland Namibia In G. D. S. Windhoek (Ed.).
- Leong Pock, J., Lumaret, R. (2010). Complexité de la biodiversité à Madagascar : exemple des baobabs. *Scripta Botanica Belgica*, 46, 358.
- Lesschaeve, I., & Noble, A. (2005). Polyphenols: factors influencing their sensory properties and their effects on foods and beverage preferences. *Am. J. Clin. Nutr.*, 81, 330–335.
- Lockett, C., Calvert, C., & Grivetti, L. (2000). Energy and micronutrient composition of dietary and medicinal wild plants consumed during drought. Study of rural Fulani, Northeastern Nigeria. . *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 51(3), 195-208.
- Marie, C., Slbelet, N., Dulcire, M., Rafalimaro, M., Danthu, P., & Carriere, S. M. (2009). Taking into account local practices and indigenous knowledge in an emergency

- conservation context in Madagascar: obvious facts and contradictions. *Biodiversity and Conservation*, 18, 2759-2777.
- Maundu, P., Ngugi, G., & Kabuye, C. (1999). Traditional Food Plants in Kenya, (pp. 270). Kenya, Nairobi: National Museums of Kenya Nairobi.
- Mehinagic, E., Royer, G., Symoneaux, R., Bertrand, D., & Jourjon, F. (2004). Prediction of the sensory quality of apples by physical measurements. *Postharvest Biol. Technol.*, 34, 257-269.
- Mondot-Bernard J. (1980). Satisfaction of food and agricultural development in Mali, Vol. I. Development Centre of the (OEDE), Paris.
- Moschner C., & Biskupek-Korell B. (2006). Estimating the content of free fatty acids in high-oleic sunflower by near-infrared spectroscopy. *Eur J Lipid Sci Technol*, 108, 606–613.
- Moustufa, B. (2002). *Chemical and technological studies on some vegetables and fruits juices*. Faculty of Agriculture of Zagazig, Egypt.
- Mullin, L. (2003). The Australian baobab. *News! Tree Soc Zimbabwe*, 9-14.
- Munier, P. (1973). Le jujubier et sa culture. *Fruits France*, 28(5), pp. 377-388.
- Murray, S., Schoeninger, M., Bunn, H., Pickering, T., & Marlen, J. (2001). Nutritional composition of some wild plant foods and honey used by Hadza foragers of Tanzania. *Food Composition and Analysis*, 13, 1-11.
- Navratil, J., Ramaswamy, G., & Zilca, R. (2004). "Statistical model migration in speaker recognition". 2585-2588.
- Niang, Y. (2000). Le jardin de baobab à Ségou . (Vol. 1, pp. 340). Ségou, Mali.
- Nicolai, B., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K., & Lammertyn, J. (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: . A review *Postharvest Biol. Technol.*, 46, 99-118.

- Nicoll, J., & Langrand. (1989). Ecology of fuelwood production in Kano region northern Nigeria. *J Arid Environnement*, 16, 347-360.
- Nilsson, L., Rabakonandrianina, E., Pettersson, B., & Grünmeier, R. (1993). Lemur pollination in the Malagasy rainforest liana *Strongylodon craveniae* Leguminosae. *Evol Trends Plants*, 7(2), 49-56.
- Norris, R. (1964). The morphology and taxonomy of South African Kallymeniaceae *Botanica Marina*, 7(50), 90-129.
- Nour, A., Magbou, I., & Kheiri, N. (1980). Chemical composition of baobab fruit (*Adansonia digitata* L) *Trop.Sci*, 22 (4), 383-388.
- Obizoba, I., & Amaechi, N. (1993a). The effect of processing methods on the chemical composition of baobab (*Adansonia digitata* L.) pulp and seed. *Ecol. Food Nutr*, 29, 109-205.
- Oliveira, J., & Carvalho, M. (1975). Nutritional value of some edible leaves used in Mosambique. *Econ Boran*, 29, pp. 255-264.
- Osman, M. (2004). Chemical and nutrient analysis of baobab (*Adansonia digitata*) fruit and seed protein solubility. *Plant Foods for Human Nutrition*, 59(1), 29-33.
- Ou, B., Hampsch-Woodill, M., & Prior, R. (2001). Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 4619-4626.
- Ozcan, U., Ozcan, L., Yilmaz, E., Duvel, K., Sahin, M., Manning, B., & Hotamisligil, G. (2008). Loss of the tuberous sclerosis complex tumor suppressors triggers the unfolded protein response to regulate insulin signaling and apoptosis. *Mol Cell*, 29, 541-551.



- Patrut, A., Von Reden, K., Lowy, D., Alberts, A., Pohlman, J., Wittmann, R., Gerlach, D., Xu, L., & Mitchell, C. (2007). Radiocarbon dating of a very large African baobab. *Tree Physiology*, 27(11), 1569–1574.
- Paulian, R. (1984). Madagascar a micro continent between Africa and Asiaeds In M. P. Oxfort (Ed.), *In Jolly, P Oberlé. Albignac ( eds)Pergamon press. Oxfort.* (pp. 1-26).
- Peirs, A., Schenk, A., & Nicolai, B. (2005). Effect of natural variability among apples on the accuracy of VIS-NIR calibration models for optimal harvest date predictions. *Postharv. Biol.Technol*, 35, 1-13.
- Perez-Vich, B., Velasco, L., & Fernandez-Martinez, J. (1998). Determination of seed oil content and fatty acid composition in sunflower through the analysis of intact seeds husked seeds meal and oil by near infrared reflectance spectrometry *JAOCs*, 75, 547-555.
- Peri, C., Pagliarini, E., & Pierucci, S. (1988). A study on optimizing heat treatment of milk. *Pasteurization Milchwissenschaft*, 43, 636-639.
- Perrier de La Bâthie, H., & Hochreutiner. (1955).(Bombacaceae) Flore de Madagascar et des Comores 129e famille et 130e famille In (pp. 1-20). Gouvernement général de Madagascar Paris France.
- Philippe, R., Onja, R., Elysée, R., Tantelinirina, R., Perle, R., & Pascal, D. (2011). Les Sphingidae, probables pollinisateurs des baobabs malgaches. *Bois et Forêts des Tropiques*, 307(1), 67.
- Prentice, A., Laskey, M., Shaw, J., Hudson, G., Day, K., Jarjou, M., Dibba, B., & Paul, A. (1993). The calcium and phosphorus intakes of rural Gambian woman during pregnancy and lactation. *Br J Nut*, 69, 885-896.

- Rajeriarison, C., Roger, E., & Rabaisson, H. (2000 ). Diversité et endémisme dans le Bemaraha. In : Lourenço W, Gooman SM (eds), *Diversité et endémisme à Madagascar* Paris France: Société Biogéographie.
- Ralaimanarivo, A., Gaydou, E., & Jean, P. (1982). Fatty acid composition of seed oils from six *Adansonia* with particular reference to cyclopropane and cyclopropane acids. *Lipides*, 17, 1 -10.
- Ramadan, A., Harraz, F., & El-Mougy, S. (1994). Anti-inflammatory analgesic and antipyretic effects of the fruit pulp of *Adansonia digitata*. *Fitoterapia*, 65, 418-422.
- Razanameharizaka, J., Grouzis, M., Ravelomanana, D., & Danthu, P. (2006). Seed storage, behaviour and seed germination in African and Malagasy baobabs (*Adansonia* species). *Seed Science Research*, 16, 83-88.
- Rivière, R. (1977). *Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical*. Paris: Min. de la Coop.
- Roberfroid. (2000). Prebiotics and probiotics are they functional foods *American Society for Clinical Nutritio*, 71, 1682-1687.
- Rodrigues, R., De Menezes, H., Cabral, L., Dornier, M., & Reynes, M. (2001). An amazonian fruit with a high potential as natural source of vitamin C: the camu-camu (*Myrciaria dubia*). *Fruits*, 56, 345–354.
- Roy, S., Anantheswaran, R., Shenk, J., Westerhaus, M., & Beelman, R. (1993). Determination of moisture content of mushrooms by VIS-NIR-spectroscopy. *J. Sci. Food Agric*, 63, 355-360.
- Saka, J., Rapp, I., Akinnifesi, F., Ndolo, V., & Mhango, J. (2007). Physicochemical and organoleptic characteristics of *Uapaca kirkiana*, *Strychnos cocculoides*, *Adansonia digitata* and *Mangifera indica* fruit products. *Int. J. Food Sci. Technol*, 42, 836-841.

- Salak, M. (2002). The vanishing forests of Madagascar Part II. *Cactus Succ J ( US)*, 74, 31-41.
- Samba, N. (1995). *Adansonia digitata*, le baobab. *Inst.Senegal. Rech. Agric (ISRA) Dir. Rech. Prod. For., Dakar, Sénégal*.
- Sato, T. (1994). Application of principal component analysis on near-infrared spectroscopic data of vegetable oils for their classification. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 71(3), 293 - 298.
- Savard, V., Olivier, A., & Franzel, S. (2002). Evaluation du potentiel d'adoption des planches maraîchères de baobab dans la région de Segou Mali In. Bamako: 2ième Atelier Régional sur les Aspects Socio-économique de l'Agroforesterie au sahel.
- Scalbert, A., & Williamson, G. (2000). Dietary intake and bioavailability of polyphenols.
- Scalbet, A., Duval, L., Peng, S., & Monties, B. (1990). Polyphenols of *Quercus robur* L. II Preparative Isolation by Low-Pressure and High-Pressure Liquid Chromatography of Heartwood Ellagitannin *J Chromatogr*, 502, 107-119.
- Scheuring, J., Sidibé, M., & Frigg, M. (1999a). Malian agronomie rcsearch identifies local baobab Iree as source of vitamin A and vitamin C Sighr of Life Newsleuer. 1, 21-24.
- Sena, Van der Jagt, D., Rivera, C., Tsin, A., Muhamadu, L., Mahamadou, O., Millson, M., Pastuszyn, A., & Glew, H. (1998). Analysis of nutritional components of eight famine foods of the Republic of Niger. *Plant Foods for Human Nutrition*, 52, 17-30.
- Sidibe, Scheuring, D., Tembely, M., Hofman, M., & Frigg, M. (1996). Baobab-Homegrown Vitamin C for Africa. *Agroforestry Today*, 8(2), 13–15.
- Sidibé, Scheuring, J., Koné, F., Hofman, P., & Frigg, M. (1998). More on baobab's homegrow vitamin C. *Agrofor Today*, 4(10), 10.
- Sidibé, & Williams, J. (2002). *Baobab Adansonia digitata : Fruits for the future* (Vol. 4). Univ. Southampton, UK: International Center for Underutilized Crops (ICUC).

- Sillans. (1961). Les plantes utiles du Gabon essai d'inventaire et de concordance des noms vernaculaires et scientifiques des plantes spontanées et introduites description des espèces propriétés utilisations économiques, ethnographiques et artistiques. In P. Lechevalier (Ed.), *préf de Jean-L Trochain*. Paris: André Raponda-Walker et Roger Sillans
- Soloviev, P., Niang, T., Gaye, A., & Totte, A. (2004). Variabilité des caractères physico-chimiques des fruits de trois espèces ligneuses de cueillette, récoltés au Sénégal: *Adansonia digitata*, *Balanites aegyptiaca* et *Tamarindus indica*. *Fruits*, 59, 109-119.
- Szlyk, J., Mahler, C., Seiple, W., Edward, D., & Wilensky, J. (2005). Driving performance of glaucoma patients correlates with peripheral visual field loss. . *J. Glaucoma*, 14(2), 145-150.
- Tal Dia, A., Touré, K., Sarr, M., & (1997). Qualité technique des consultations prénatales au Sénégal. *Dakar-Médical*, 68-73.
- Tindall, H. (1965). Fruits and vegetables in West Africa, with a chapter by Florence A. Sai; *FAO, Rome*.
- Toury, J., Giorgi, R., Favier, J., & Savina, J. (1965). *Aliments de l'Ouest Africain. Tables de Composition*. . Dakar, Sénégal: Organisme de coordination de coopération pour la lutte contre les grandes endémies (OCCGE). Organisme de recherches sur l'alimentation et la nutrition africaines (ORANA).
- Trewhella, W., Rodriguesz-Clark, K., Davies, J., Reason, F., & Wray, S. (2001). Sympatric fruit bat species (Chiroptera: Pteropodidae ) in the Comoro Islands (Western Indian Ocean): diurnality, feeding interactions and their conservation implications. *Acta Chiropterologica*, 3, 135–147.
- USDA. (2006). National Nutrient Database for Standard Reference 09206, Wash. D.C, NDB No.09152, 09160.

- Van Boekel, M. (2001) Kinetic aspects of the Maillard reaction: a critical review. *Nahrung*, 45, 150-159.
- Velasco, L., Fernández-Martínez, J., García-Ruiz, & RDomínguez, J. (2002). Genetic and environmental variation for tocopherol content and composition in sunflower commercial hybrids. *Journal of Agricultural Science*, 139, 425-429.
- Velasco, L., Goffman, F., & Becker, H. (1999). Development of calibration equations to predict oil content and fatty acid composition in Brassicaceae germplasm by near infra-red reflectance spectroscopy. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 76(1), 25 - 30.
- Vertuani, S., Braccioli, E., & Manfredini, S. (2002). Antioxidant capacity of *Adansonia digitata* fruit pulp and leaves. *Acta Phytotherapeutica*, 5, 2-7.
- Vimalanathan, S., Kang, L., Treyvaud Amiguet, V., Livesey, J., Arnason, J., & Hudson, J. (2005). *Echinacea purpurea* aerial parts contain multiple antiviral compounds. *Pharm. Biol*, 43, 740-745.
- Walker. (1953). Le Baobab au Gabon. *Rev int Bot Appl Agrc Trop*, 33, 174-175.
- Wehmeyer, A. (1996). The nutrient composition of some edible wild fruits found in the Transvaal. *South African Medical Journal*, 40, 1102-1104.
- Wickens, & Lowe, P. (2008). The baobabs: pachycauls of Africa, Madagascar and Australia In ( 498). Dordrecht London: Springer.
- Wickens, G. (1982). The baobab-africa's upside-down tree. In (Vol. 37, pp. 173-209): Kew Bull.
- Wong, J., Ma, K., Fang, K., & Cheung, C. (1999). Utilization of a manure compost for organic farming in Hong Kong. *Bioresource Technology*, 67, 43-46.

- Yazzie, D., Vanderjagt, D., Okolo, A., & Glew, R. (1994). The amino acid and mineral content of baobab (*Adansonia digitata* L.) leaves *Journal of Food Composition and Analysis*, 7, 189-193.
- Yuan, L., Sun, J., Quan, L., & Shum, H. (2007). Image deblurring with blurred/noisy image pairs. *ACM Trans. Graph SIGGRAPH*, 26 (3), 1-10.

## Résumé

Le baobab est un arbre qui pousse à l'état sauvage en Afrique et ailleurs dans le monde où le fruit est consommé sous différentes formes. Si l'écologie et la botanique de la plante ont été bien étudiées, il y a peu d'information disponible sur la composition biochimique d'une manière générale et même inexistante chez les espèces malgaches en particulier. Cette étude s'inscrit dans le contexte du développement et de la valorisation des produits locaux en Afrique. Elle a pour objectif principal de mieux caractériser la pulpe des fruits de baobabs issus d'échantillons de diverses provenances de Madagascar et d'Afrique. A cette fin, elle s'est attachée dans un premier temps à caractériser et à quantifier les principaux éléments nutritifs comme les glucides, les acides aminés, les lipides, les polyphénols, la vitamine C, les acides organiques, les éléments minéraux et les arômes. La caractérisation biochimique de la pulpe a révélé une forte acidité titrable (102 meq/100g), une teneur élevée en acide ascorbique (jusqu'à 312 mg/100g) et en polyphénols de 60,24 à 137,81mg/100g ainsi qu'un potentiel antioxydant très fort de 329 à 1705,98 mg/100g et une bonne source de Ca de 658 mg/100g.

Une évaluation du potentiel de ce fruit pour une valorisation à plus grande échelle à travers une amélioration des procédés de transformation existant en Afrique a été réalisée. L'identification d'une approche de stabilisation et de conservation du nectar par voie conventionnelle (pasteurisation) a été réalisée. Nos résultats ont montré que le nectar est aussi nutritif que les fruits usuels et que sa stabilisation peut se faire par une pasteurisation en utilisant le barème 70°C/10 min. L'analyse sensorielle du nectar après chaque étape de traitement (pasteurisation ; conservation 42 j) n'a pas montré de modification organoleptique du produit quelque soit les conditions utilisées. Deux approches empiriques classiques (modèles d'Arrhenius et de Ball) ont été utilisés pour décrire la cinétique de dégradation thermique de la vitamine C du nectar.

Enfin, une étude de faisabilité de l'utilisation de la spectrométrie proche infrarouge pour la caractérisation des origines et pour la détermination des teneurs en constituants biochimiques a été réalisée. Ce travail a permis de montrer qu'il était possible de doser la matière sèche, les protéines, le fructose et le potassium. Une séparation des espèces basée sur l'analyse des spectres semble aussi pouvoir être réalisée via leur appartenance aux sections (*brevetubae*, *longitubae*).

**Mots clés :** Baobab, *Adansonia*, caractérisation biochimique, conservation, pasteurisation, SPIR.

## Summary

Baobab tree is growing wild in Africa and elsewhere in the world. Fruits are consuming in different ways. Plant ecology and botanic are well detailed, but generally few information is available on biochemical composition and even nothing about Malachi species. This study takes place in the development and valorization of African local fruits program. The main objective is to characterize baobab fruit pulp samples coming from both Madagascar and Africa. First, the main nutriments were characterized and quantified, such as, carbohydrates, amino acids, lipids, polyphenols, vitamin C, organic acids, minerals and aroma compounds. Biochemical characterization of the pulp showed high level of total acidity (102 meq/100g), ascorbic acid (till 312 mg/100g), polyphenols (from 60.24 to 137.81mg/100g) and antioxidant potential.

To valorize the fruit at larger scale, evaluation of its potential was realized trough improvements of existing processing techniques in Africa. A conventional approach (pasteurization) was realized to stabilize and store nectar. Data show nectar is as nutritive than fresh fruit with pasteurization schedule at 70°C/10min. Sensory analysis of nectar after each step of process doesn't show organoleptic difference relative to storage temperature. Two classical empirical approaches (Arrhenius and Ball models) were used to describe kinetic of thermal degradation of vitamin C of nectar.

At least, Near Infra Red Spectroscopy (NIRS) was tested, to determine geographical origins and levels of biochemical compounds. Dry matter, proteins, fructose and potassium were quantified. Species segregation with NIRS seems possible by means of belonging to *brevetubae* and *longitubae* sections.

**Keywords :** baobab, *Adansonia*, biochemical characterization, preservation, pasteurization, NIRS.